

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÃO PÚBLICA DE ENSINO E
PESQUISA VISANDO NÍVEL A PELO RTQ-C ATRAVÉS DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA**

RICARDO BASTOS PIQUEIRA RIBEIRO

DM: 15/2016

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém – Pará – Brasil

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RICARDO BASTOS PIQUEIRA RIBEIRO

ANÁLISE DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÃO PÚBLICA DE ENSINO E
PESQUISA VISANDO NÍVEL A PELO RTQ-C ATRAVÉS DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA

DM: 15/2016

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém – Pará – Brasil

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RICARDO BASTOS PIQUEIRA RIBEIRO

ANÁLISE DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÃO PÚBLICA DE ENSINO E
PESQUISA VISANDO NÍVEL A PELO RTQ-C ATRAVÉS DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA

Dissertação submetida à Banca
Examinadora do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica
da UFPA para a obtenção do Grau
de Mestre em Engenharia Elétrica
na área de Sistemas de Potência.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém – Pará – Brasil

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÃO PÚBLICA DE ENSINO E
PESQUISA VISANDO NÍVEL A PELO RTQ-C ATRAVÉS DE AÇÕES DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA

AUTOR: RICARDO BASTOS PIQUEIRA RIBEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA.

APROVADA EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Maria Emília de Lima Tostes
(ORIENTADORA – UFPA)

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra
(CO-ORIENTADOR – UFPA)

Prof. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
(MEMBRO – UFPA)

Prof. Dra. Alessandra Macedo de Souza Lopes
(MEMBRO – UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(COORDENADOR DO PPGEE / ITEC / UFPA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho e tudo que consegui realizar durante a minha vida à minha mãe, pois sem ela e seu esforço e apoio incondicional nada teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à professora Maria Emília Tostes, que não apenas foi a idealizadora deste trabalho mas também o acolheu de última hora, fornecendo todo o suporte necessário para que ele pudesse ser concluído. Deixo aqui meu agradecimento também ao professor Ubiratan Bezerra, pelo acompanhamento desde os tempos de graduação, e à todos os professores que compartilharam comigo o seu conhecimento nesta caminhada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA.

Agradeço também aos colegas de mestrado e do Ceamazon, bem como aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Bruno Zemero e Bruno Oliveira, que influenciaram e contribuíram de forma única para este trabalho.

Finalmente, à Camila, minha maior incentivadora e motivadora, por todo o amor, amizade e companheirismo.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	vi
AGRADECIMENTOS	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1 – A eficiência energética no Brasil.....	1
1.2 – O processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.....	7
1.3 – Objetivo do trabalho.....	11
1.4 – Revisão da literatura.....	11
1.5 – Estrutura da dissertação.....	12
CAPÍTULO 2 – Visão Geral do RTQ-C	13
2.1 – Histórico de implantação.....	13
2.2 – Procedimentos iniciais.....	13
2.3 – Pré-requisitos gerais.....	15
2.4 – Bonificações.....	16
2.5 – Cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv).....	17
2.5.1 – Pré-requisitos específicos da Envoltória.....	17

2.5.2 – Procedimento de determinação da eficiência da Envoltória.....	18
2.6 – Cálculo do Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação (EqNumDPI).....	20
2.6.1 – Pré-requisitos específicos do Sistema de Iluminação.....	20
2.6.2 – Procedimento de determinação da eficiência do Sistema de Iluminação.....	22
2.6.2.1 – Método da área do edifício.....	23
2.6.2.2 – Método das atividades do edifício.....	25
2.7 – Cálculo do Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (EqNumCA).....	27
2.7.1 – Pré-requisitos específicos do Sistema de Condicionamento de ar.....	27
2.7.2 – Procedimento de determinação da eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar.....	30
CAPÍTULO 3 – Aplicação do RTQ-C no edifício do Ceamazon.....	31
3.1 – Apresentação.....	31
3.2 – Análise da Envoltória.....	35
3.3 – Análise do Sistema de Iluminação.....	36
3.4 – Análise do Sistema de Condicionamento de Ar.....	39
3.5 – Pontuação Total.....	41
3.6 – Alterações propostas.....	42
3.6.1 – Para o Sistema de Iluminação.....	42
3.6.2 – Para o Sistema de Condicionamento de Ar.....	45
3.6.3 – Pontuação Total revisada.....	47
CAPÍTULO 4 – Simulações de viabilidade econômica e simulações energéticas das alterações propostas.....	51
4.1 – Simulação de viabilidade econômica via RetScreen.....	51
4.1.1 – Levantamento dos dados iniciais para a simulação de viabilidade econômica.....	51
4.1.2 – Inserção dos dados referentes ao Sistema de Iluminação.....	52

4.1.3 – Inserção dos dados referentes ao Sistema de Condicionamento de Ar....	52
4.1.4 – Resultados das simulações de viabilidade econômica.....	54
4.2 – Simulação energética via <i>DesignBuilder/Energy Plus</i>	56
4.2.1 – Modelagem do ambiente.....	56
4.2.2 – Simulações energéticas.....	59
CAPÍTULO 5 – Conclusões.....	61
5.1 – Considerações Finais.....	61
5.2 – Propostas de Trabalhos Futuros.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXO A.....	66

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Economia de energia no Brasil, 2010-2014 (em bilhões de kWh).....	2
Figura 2 – Criação do Programa PBE Edifica.....	3
Figura 3 – ENCE Geral de Edificação Construída.....	3
Figura 4 – Etiquetas Parciais de Projeto.....	4
Figura 5 – ENCE de projeto da sede administrativa da empresa Biotrigo Genética em Passo Fundo – RS.....	4
Figura 6 – ENCE de projeto do hotel Go Inn, em Curitiba – PR.....	5
Figura 7 – ENCE de projeto do estádio “Arena das Dunas” em Natal – RN.....	5
Figura 8 – Edifício sede da Caixa em Belém, nível A de eficiência pelo RTQ-C.....	6
Figura 9 – Posto Rezende, em Belém, nível A de eficiência pelo RTQ-C.....	7
Figura 10 – Regulamentos e Manuais do PBE Edifica.....	8
Figura 11 – Fluxograma do processo de obtenção da ENCE.....	10
Figura 12 – Resumo dos pré-requisitos da envoltória – parte 1.....	18
Figura 13 – Resumo dos pré-requisitos da envoltória – parte 2.....	18
Figura 14 – Ilustração da divisão do controle de acionamento da iluminação por área.....	21
Figura 15 – Ilustração da independência necessária ao acionamento da fileira de luminárias mais próxima às janelas.....	21
Figura 16 – Fluxograma dos pré-requisitos para o sistema de condicionamento de ar.....	29
Figura 17 – Vista externa do prédio do Ceamazon.....	31
Figura 18 – Planta baixa do andar térreo do Ceamazon.....	32
Figura 19 – Planta baixa do primeiro pavimento do Ceamazon.....	33
Figura 20 – Planta baixa do segundo pavimento do Ceamazon.....	34
Figura 21 – Iluminação natural da sala de aula 1 do Ceamazon.....	48
Figura 22 – Iluminação natural no laboratório de Qualidade da Energia do Ceamazon.....	49
Figura 23 – Iluminação natural no laboratório de Qualidade da Energia do Ceamazon.....	49
Figura 24 – Modelo energético do RetScreen – Iluminação.....	52
Figura 25 - Modelo energético do RetScreen – Condicionamento de ar – parte 1.....	53
Figura 26 - Modelo energético do RetScreen – Condicionamento de ar – parte 2.....	53

Figura 27 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – Retrofit do sistema de iluminação.....	54
Figura 28 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – Retrofit do sistema de condicionamento de ar.....	55
Figura 29 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – Ações combinadas.....	55
Figura 30 – Análise da redução de emissões do RetScreen.....	56
Figura 31 – Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes.....	57
Figura 32 – Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – ambiente 1.....	57
Figura 33 – Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – ambiente 2.....	58
Figura 34 – Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – sombreamentos.....	58
Figura 35 – Consumo diário de energia do sistema de iluminação ao longo de um ano – Iluminação com lâmpadas fluorescentes.....	59
Figura 36 – Consumo diário de energia do sistema de iluminação ao longo de um ano – Iluminação com lâmpadas LED.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Combinações de métodos para obtenção da ENCE.....	14
Tabela 2 – Níveis de eficiência e seus equivalentes numéricos correspondentes.....	14
Tabela 3 – Classificação geral.....	15
Tabela 4 – Limites dos intervalos de níveis de eficiência.....	20
Tabela 5 – Pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação.....	22
Tabela 6 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício.....	24
Tabela 7 – DPI Limite para edifícios com função “Correios”.....	24
Tabela 8 – Valores limites para os níveis de eficiência no exemplo.....	25
Tabela 9 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício.....	25
Tabela 10 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento.....	28
Tabela 11 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de refrigeração.....	28
Tabela 12 – Eficiência mínima para caldeiras de água a gás.....	29
Tabela 13 – Discriminação dos ambientes – andar térreo.....	32
Tabela 14 – Discriminação dos ambientes – 1º pavimento.....	33
Tabela 15 – Discriminação dos ambientes – 2º pavimento.....	34
Tabela 16 – Valores limites para os níveis de eficiência da envoltória do Ceamazon.....	35
Tabela 17 – Levantamento da potência instalada de iluminação do Ceamazon.....	36
Tabela 18 – Área x potência por ambientes (atividades).....	37
Tabela 19 – Dados do sistema de condicionamento de ar do Ceamazon.....	39
Tabela 20 – Determinação do EqNumCA.....	40
Tabela 21 – Equivalência fluorescente x LED.....	42
Tabela 22 – Sistema de iluminação com LEDs.....	42
Tabela 23 – Área x potência por ambientes (atividades).....	44
Tabela 24 – Redimensionamento dos condicionadores de ar.....	45
Tabela 25 – Determinação do novo EqNumCA.....	46

RESUMO

Esta dissertação apresenta a análise de eficiência energética predial feita no edifício do Ceamazon, laboratório de pesquisas vinculado à Universidade Federal do Pará. Para este estudo foi utilizada a metodologia prescritiva do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C. A análise energética do RTQ-C envolve três parâmetros distintos: a envoltória da edificação, o sistema de iluminação artificial e o sistema de condicionamento de ar. O estudo dos dados de cada um destes sistemas fornece material para os cálculos necessários no método, que resultarão em um equivalente numérico para cada um, representando a eficiência de cada sistema. A análise desta dissertação foi efetuada principalmente nos sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar, visto que uma análise prévia dos dados de envoltória do prédio já havia coletado bons resultados. O objetivo primário da dissertação foi de enquadrar a edificação em questão no nível A de eficiência energética proposto pelo regulamento. Desta forma, foram feitas as adequações necessárias ao projeto do ponto de vista energético, especificamente nos sistemas de iluminação e refrigeração artificial, visando tanto a classificação máxima de acordo com o RTQ-C como também a economia de energia e conseqüentemente, a redução de custos. Assim sendo, serão apresentadas também propostas de inclusão de alternativas energéticas para o edifício, visando uma eficiência energética ainda maior, bem como análises de viabilidade econômica e simulações energéticas das alterações propostas ao projeto da edificação, através dos *softwares RetScreen e EnergyPlus*.

Palavras-chave: Eficiência Energética Predial, RTQ-C, *RetScreen*, *EnergyPlus*.

ABSTRACT

This dissertation presents the analysis of energy efficiency of the Ceamazon building, a research laboratory bounded to the Federal University of Pará. For this study it was utilized the prescriptive method of the “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C”. RTQ-C’s energy analysis involves three distinct parameters: the building envelope, the artificial illumination system and the air-conditioning system. The study of the characteristics of each one of these systems provides material for the necessary calculations of the method, which will result in a numeric equivalent for each one, representing the efficiency of each system. This dissertation’s analysis was done mainly at the artificial illumination system and the air-conditioning system, since one previous analysis of the building’s envelope had already collected good results. The primary goal of this dissertation was to fit the building studied in the level A of energy efficiency proposed by the regulation. Thus, adjustments were made to the project from the energetic point of view, specifically on the artificial illumination and air-conditioning systems, aiming not only the maximum classification according to RTQ-C but also energy savings and the consequent reduction of costs. Therefore, proposals of inclusion of energetic alternatives to the building will also be presented, aiming at a higher energy efficiency, as well as economic viability analysis and energetic simulations of the alterations proposed to the building project, utilizing the *softwares RetScreen* and *EnergyPlus*.

Key words: Building Energy Efficiency, RTQ-C, *RetScreen*, *EnergyPlus*.

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – A eficiência energética no Brasil

O consumo de energia é um dos principais indicadores de desenvolvimento de uma sociedade, tanto sob uma análise do ponto de vista econômico quanto sob o ponto de vista de qualidade de vida. A maior demanda por energia é uma consequência direta do aumento da capacidade da população de adquirir bens de consumo e serviços que agregam uma maior tecnologia.

Sabendo-se que não existe nenhuma forma de produzir energia 100% limpa, deve-se produzir energia de modo a tentar minimizar os impactos que geralmente são sofridos pelo meio ambiente. Com o contínuo aumento da demanda por energia elétrica, crescendo mais rápido que a oferta, e essa impossibilidade de gerar cada vez mais sem causar alguma espécie de dano, torna-se necessário dar a devida importância à racionalização do uso de energia, e consequentemente, do uso consciente desta.

É neste cenário, que no Brasil, e no mundo como um todo, os estudos acerca da Eficiência Energética dos processos começou a tomar forma.

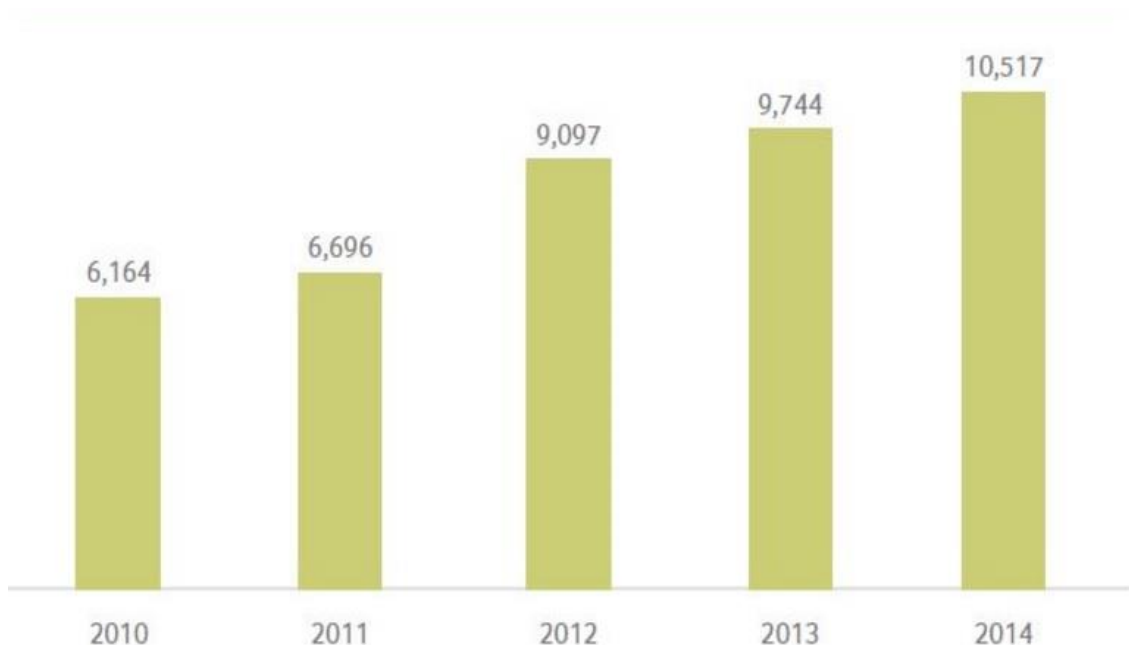
No caso específico brasileiro, esta discussão iniciou-se na década de 80, quando o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO, começou a pensar em alternativas para a crise do petróleo que afetou o mundo na década anterior. Pensando em um primeiro momento unicamente no setor automobilístico, este projeto inicial foi ampliado e redirecionado, tornando-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, criado em 1984. Hoje em dia, 32 anos depois, o PBE está presente no dia-a-dia do brasileiro, caracterizando os níveis de eficiência energética de eletrodomésticos, automóveis e mais recentemente, de edifícios.

Previamente à essa grande expansão do programa, no ano de 1985, foi criado pelo governo, através do Ministério de Minas e Energia, o Programa Nacional de Conservação de Energia, o PROCEL, executado pela Eletrobras. Imaginado como um amplo programa de conscientização, uso eficiente da energia elétrica e combate ao desperdício, o PROCEL hoje em dia conta com uma ampla gama de subprogramas, dos quais tem-se:

- PROCEL GEM – Gestão Energética Municipal;
- PROCEL Sanear – Eficiência Energética no Saneamento Ambiental;
- PROCEL Educação – Informação e Cidadania;
- PROCEL Indústria – Eficiência Energética Industrial;
- PROCEL Edifica – Eficiência Energética em Edificações;
- PROCEL EPP – Eficiência Energética nos Prédios Públicos;
- PROCEL Reluz – Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica;
- Selo PROCEL – Eficiência Energética em Equipamentos;
- PROCEL Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.

Trabalhando em tantas vertentes diferentes, ao longo dos anos o PROCEL já obteve resultados expressivos no que diz respeito à conservação de energia no Brasil, como mostra a figura 1:

Figura 1 – Economia de energia no Brasil, 2010-2014 (em bilhões de kWh).



Fonte: PROCEL Info.

Somados os resultados acumulados desde 1986 até 2014, a economia total obtida foi de 80,6 bilhões de kWh (PROCEL Info).

Ao longo dos anos outros importantes acontecimentos ocorreram para o desenvolvimento da conservação de energia no Brasil. No ano 2000 foi decretada a lei nº 9991, que obrigou as concessionárias de energia a investir um percentual de sua receita em pesquisas e programas de eficiência energética. Já em 2001, foi a vez da lei nº 10295, conhecida como a “Lei da Eficiência Energética”, que, através do INMETRO, que estabelecia de forma voluntária programas de etiquetagem, passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética.

No contexto da eficiência energética em edificações, os dois marcos mais importantes ocorreram primeiramente em 2003, com a criação do selo PROCEL Edifica, e em seguida em 2006, quando o selo se uniu ao PBE, criando o PBE Edifica, ilustrado na figura 2:

Figura 2 – Criação do Programa PBE Edifica.



Fonte: PBE Edifica.

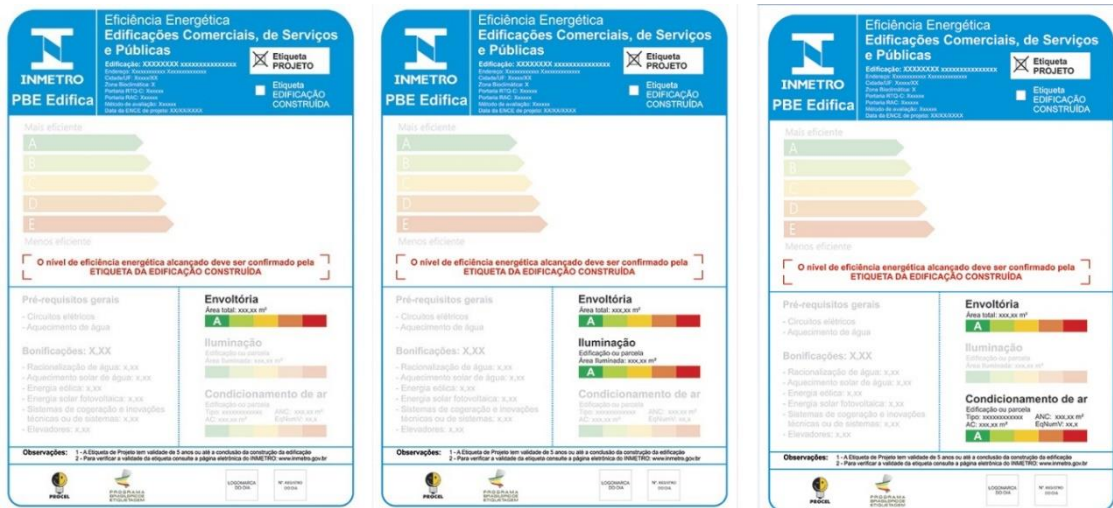
Desta junção de programas surge a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, a forma mais atual de avaliar a eficiência energética de edificações no Brasil. Avaliando as construções sob a ótica de três sistemas distintos (Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar), a etiqueta pode ser tanto geral, quanto parcial, neste último caso, quando ainda não foram avaliados todos os sistemas da construção. Exemplos das etiquetas são mostrados nas figuras 3 e 4:

Figura 3 – ENCE Geral de Edificação Construída.



Fonte: PBE Edifica.

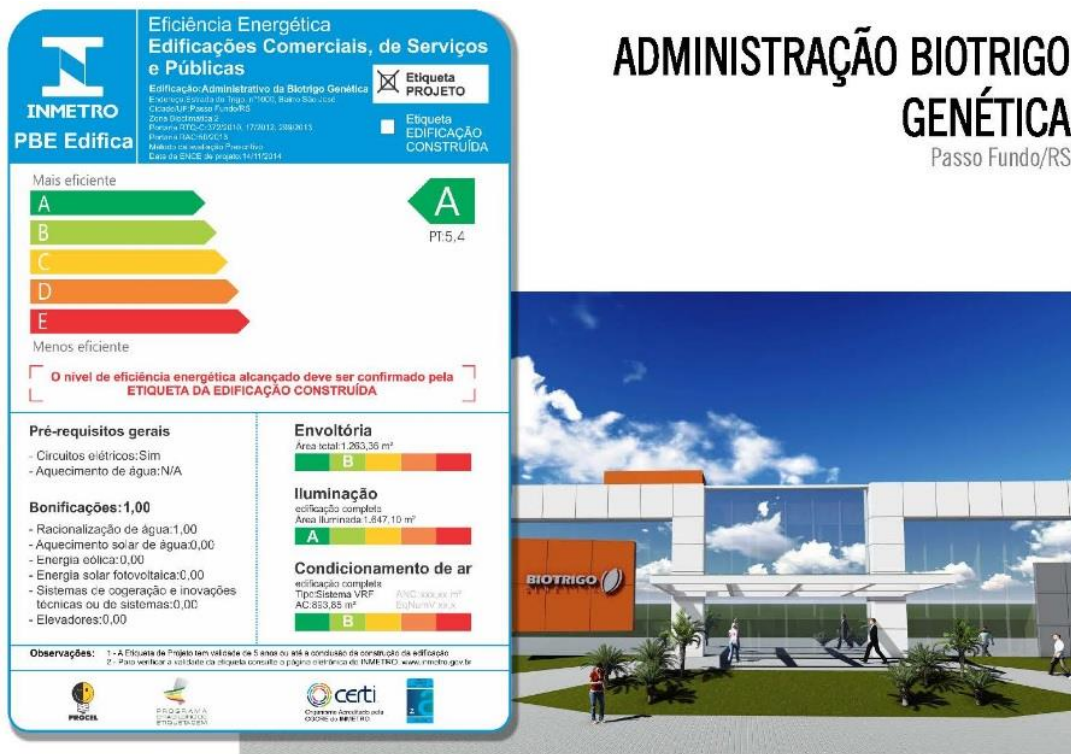
Figura 4 – Etiquetas Parciais de Projeto.



Fonte: PBE Edifica.

Para edificações comerciais, de serviço e públicas, já são contabilizadas mais de 170 edificações etiquetadas (de acordo com os dados do ano de 2015), como por exemplo a sede administrativa da empresa Biotrigo Genética em Passo Fundo – RS (figura 5), o hotel Go Inn em Curitiba – PR (figura 6) e o estádio “Arena das Dunas” em Natal – RN (figura 7).

Figura 5 – ENCE de projeto da sede administrativa da empresa Biotrigo Genética em Passo Fundo - RS.



Fonte: PBE Edifica.

Figura 6 – ENCE de projeto do hotel Go Inn, em Curitiba – PR.



Fonte: PBE Edifica.

Figura 7 – ENCE de projeto do estádio “Arena das Dunas” em Natal – RN.



Fonte: PBE Edifica.

Em Belém, apenas duas edificações já possuem a etiquetagem de eficiência energética do PBE Edifica:

- A sede administrativa da Caixa Econômica Federal:

O edifício sede da Caixa Econômica Federal, em Belém, apresentado na figura 8, possui 17.870 m² distribuídos em oito pavimentos, e obteve projeto orientado com design específico para melhoria do condicionamento térmico da construção, reduzindo a necessidade de uso do ar-condicionado. Possui superfície clara, com uso de pastilhas, o que diminui a absorção de calor do sol. A iluminação conta com aproveitamento de luz natural e sensor de presença nas escadas e estacionamento. A construção conta, ainda, com aproveitamento e filtragem de água drenada do lençol freático para alimentação de vasos sanitários e “sprinklers” (sistema de incêndio), com uma economia de água estimada em 50%.

Considerando-se os três quesitos avaliados pelo RTQ-C, onde o edifício obteve nota A para a envoltória, nota B para o sistema de iluminação e nota A para o sistema de condicionamento de ar, e a bonificação adicional por racionalização de água e utilização de água do sub-solo, o imóvel recebeu a certificação geral mais alta, de nível A.

Figura 8 – Edifício sede da Caixa Econômica Federal em Belém, nível A de eficiência pelo RTQ-C.



Fonte: Portal Engenharia e Arquitetura –

<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/612/CAIXA-recebe-etiqueta-de-eficiencia-energetica.aspx> (acessado em 01/06/2016)

- O posto de gasolina Rezende:

Reinaugurado em 2016, após uma série de reformas, o posto Rezende, em Belém, também obteve a ENCE Geral após avaliação pelo RTQ-C. Obtendo nível A nos três sistemas avaliados (envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar) e possuindo ainda um sistema de racionalização do uso de água, obteve nota final nível A.

Na figura 9 pode-se ver claramente a iluminação zenital adotada no projeto, contribuindo para a alta eficiência do sistema de iluminação:

Figura 9 – Posto Rezende, em Belém, nível A de eficiência pelo RTQ-C.



Fonte: o autor.

1.2 – O processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtida mediante a avaliação da edificação a partir dos requisitos contidos em dois principais documentos:

- O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, RTQ-C, e;
- O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R.

Ambos são complementados por um terceiro documento, o Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações, o RAC. Existem ainda manuais de aplicação para os regulamentos e para o RAC, bem como manuais específicos para gestores públicos, como mostra a figura 10:

Figura 10 – Regulamentos e Manuais do PBE Edifica.



Fonte: PBE Edifica.

O processo de etiquetagem é composto de duas etapas: primeiramente, a inspeção de projeto e em seguida a inspeção da edificação construída – ao fim das quais são emitidas a ENCE de projeto (facultativa para edificações existentes) e a ENCE da Edificação Construída, respectivamente.

A inspeção de projeto pode ser feita segundo dois métodos – prescritivo e simulação termoenergética, enquanto a inspeção da edificação construída deve ser feita através da inspeção amostral in loco. O método prescritivo para inspeção de projeto contém equações e tabelas que limitam parâmetros da edificação de acordo com o nível de eficiência energética, e será explicado em detalhes no capítulo 2 deste trabalho.

Já o método de simulação baseia-se na simulação termoenergética de um modelo do edifício real (proposto em projeto) e modelos de referência elaborados com parâmetros baseados no método prescritivo. A classificação é feita comparando-se os consumos anuais de energia elétrica obtidos nas simulações para cada modelo.

A etiquetagem é voluntária e aplicável a qualquer edificação, exceto aos edifícios da administração pública federal cuja exigência se tornou obrigatória em 2014. No Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) foi estabelecido o calendário da compulsoriedade do PBE Edifica, sendo este até 2021 para prédios públicos, até 2026 para edificações comerciais e até 2031 para edificações residenciais. Atualmente o Grupo Técnico de Edificações do Ministério de Minas e Energia está trabalhando na elaboração

do Plano para Compulsoriedade do PBE Edifica no setor público. As metas de redução de consumo do PNEf são:

- 38185 GWh para o setor residencial;
- 16706 GWh para o setor comercial;
- 7160 GWh para o setor público;
- 39847 GWh para o setor industrial, e,
- 551 GWh para o setor agropecuário.

A avaliação das edificações comerciais, de serviço e públicas será tratada com detalhes no próximo capítulo. Já as edificações residenciais podem ser avaliadas em três escalas – Unidade Habitacional Autônoma (UH), Edificação Multifamiliar e Áreas de Uso Comum - recebendo uma ENCE geral para cada uma delas e não havendo a opção de ENCE parcial. Nas UHs, que são casas ou apartamentos, são avaliados os desempenhos da envoltória - tanto na condição de verão, quanto na condição de inverno – e do sistema de aquecimento de água. Também é possível obter bonificações.

A avaliação das edificações multifamiliares é feita a partir da ponderação das ENCEs dos apartamentos (UHs) que as compõem. Quanto às áreas de uso comum, a avaliação é feita tanto naquelas em que o uso é frequente – onde se avalia a eficiência do sistema de iluminação artificial, das bombas centrífugas e dos elevadores – quanto nas áreas de uso eventual – nas quais são avaliados os sistemas de iluminação artificial e de aquecimento de água (banheiros, vestiários e piscinas), os equipamentos e a sauna.

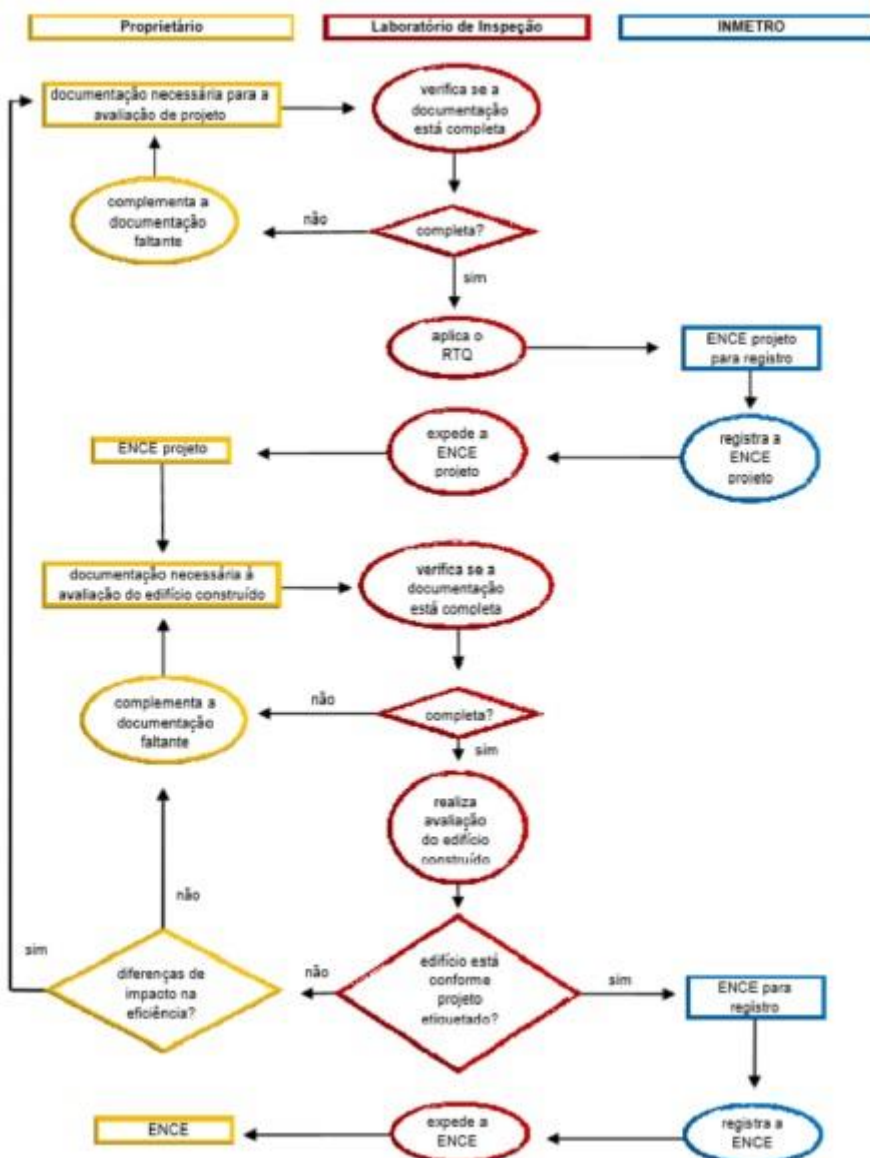
As exigências contidas nos regulamentos técnicos são avaliadas por um Organismo de Inspeção Acreditado pelo INMETRO (OIA), de forma que este verifique as características projetadas e construídas da edificação para indicar qual o nível de eficiência alcançado por este.

Iniciando o processo de etiquetagem, o solicitante encaminha ao OIA o pedido de avaliação, juntamente com os documentos exigidos, como projetos, declarações e memoriais descritivos. De acordo com o método de inspeção de projeto escolhido pelo solicitante, o OIA procederá à inspeção de projeto, avaliando a edificação segundo os critérios descritos nos regulamentos técnicos (RTQ-C ou RTQ-R). Ao final do processo ele emitirá a ENCE de projeto, caso tenha sido requerida pelo solicitante, e o relatório de inspeção. Esta ENCE será enviada ao Inmetro para seu registro em banco de dados específico.

Uma vez concluída a construção, o que é evidenciado pelo alvará de conclusão da obra ou pela ligação definitiva com as concessionárias de energia elétrica e gás combustível, o OIA deverá proceder à inspeção in loco na edificação, verificando se as características que constaram no projeto foram corretamente atendidas. Uma atualização do projeto de acordo com o que foi construído pode ser realizada antes da inspeção, evitando alterações no nível de eficiência obtido. A inspeção da edificação construída é realizada pela amostragem dos ambientes e componentes, incluindo medições de dimensões e de propriedades dos materiais construtivos e conferência de aplicação de materiais e equipamentos especificados no projeto que foi avaliado.

Ao final desse processo o OIA emitirá a ENCE da Edificação Construída e o relatório de inspeção. Esta ENCE também será enviada ao Inmetro para seu registro em banco de dados específico. Esta ação configura a finalização do processo de etiquetagem da edificação. O fluxograma da figura 11 resume todo o processo para obtenção da ENCE de Edificação.

Figura 11 – Fluxograma do processo de obtenção da ENCE.



Fonte: RAC.

1.3 – Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é aplicar o regulamento em exercício no Brasil para analisar a eficiência energética de um edifício de pesquisas vinculado a Universidade Federal do Pará, expondo os pontos positivos e negativos do projeto, bem como sugerindo soluções para os principais problemas encontrados.

Como objetivos específicos tem-se:

- A aplicação do RTQ-C na edificação, para a avaliação da eficiência energética predial;
- O desenvolvimento de simulações visando a análise da viabilidade econômica das alterações propostas;
- O desenvolvimento de simulações energéticas que corroborem os ganhos propostos pelas alterações.

1.2 – Revisão bibliográfica

Fossati e Lamberts (2010) atestam que o RTQ-C surge como uma ferramenta para estimular o emprego de técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas para a criação de soluções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente climático em que estão inseridas.

Amorim et al (2010), ao efetuar a análise da sede do Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura, Confea, em Brasília, por meio dos métodos determinados no RTQ-C constatou que os valores obtidos através do método prescritivo estavam de acordo com os valores obtidos em simulação, validando desta forma a metodologia de cálculo determinada pelo regulamento.

Batista (2010), ao implantar os procedimentos propostos no RTQ-C em um edifício escolar no Rio de Janeiro, concluiu que o regulamento pertinente atualmente no Brasil pode estar precisando ser revisado, visto que em alguns casos, adota critérios muito levanos para a determinação da eficiência, e que talvez não representem a realidade.

Tavares (2011), ao aplicar o regulamento em um dos edifícios do campus da Universidade Federal de Uberlândia, teve como principais problemas a falta dos dados específicos requeridos para a aplicação do regulamento, visto que não é em todos os casos que o memorial descritivo do projeto está completo e organizado.

Oliveira (2013) realizou uma profunda análise da envoltória da edificação que será analisada neste trabalho. Avaliando também os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, determinou o nível de eficiência energética da edificação, porém não obteve um resultado final muito satisfatório, o que de certa forma foi uma das motivações para este trabalho.

Filho et al (2015) analisou três diferentes prédios situados no mesmo campus universitário, da Universidade Federal do Pará, onde se encontra o edifício que é o objeto de estudo deste trabalho. Após a aplicação dos métodos propostos no regulamento, verificou que alguns pontos do processo de avaliação ainda precisam ser melhorados, para que reflitam com maior veracidade a real condição da edificação.

Zemero (2016) aliou à aplicação dos conceitos de eficiência energética predial o conhecimento de simulações termo-energéticas, avaliando de forma mais profunda e detalhada o consumo de energia de edificações.

1.3 – Estrutura da dissertação

Esta dissertação se desenvolverá ao longo de 5 capítulos.

No capítulo 1 foi efetuada a introdução contextual do trabalho, situando no panorama energético nacional a necessidade de se estudar, pesquisar e aplicar a eficiência energética nas construções e nos processos em geral. Este capítulo também apresentou a revisão bibliográfica efetuada como pesquisa inicial para o desenvolvimento da dissertação.

No capítulo 2, será tratado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C, referência principal e motivadora do desenvolvimento deste trabalho. Serão analisados detalhadamente os pré-requisitos gerais, específicos e todo o processo de determinação do nível de eficiência de uma edificação, através do cálculo dos valores representativos de eficiência energética da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar.

No capítulo 3, os conceitos definidos pelo Regulamento, e expostos no capítulo 2 desta dissertação serão aplicados à edificação escolhida para o desenvolvimento deste trabalho. Serão apresentados os resultados da análise da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar específicos da edificação em questão, avaliando o nível de eficiência em que cada um dos sistemas se encontra e a classificação geral de eficiência energética da edificação. Posteriormente, serão apresentadas alternativas para a resolução dos problemas encontrados durante a análise.

No capítulo 4, será efetuada a análise de viabilidade econômica das medidas de aumento da eficiência energética do edifício, propostas no capítulo 3. Esta análise foi baseada na pesquisa dos custos de implantação das melhorias propostas e visou calcular o tempo de retorno simples do investimento, através do *software RetScreen*. Também serão apresentadas simulações energéticas do sistema de iluminação, efetuadas através do motor de simulação *EnergyPlus* e utilizando a interface gráfica do software *DesignBuilder*, ilustrando as vantagens obtidas em decorrência das alterações propostas.

Finalmente, no capítulo 5, serão apresentadas as principais conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento desta dissertação, bem como algumas sugestões para a continuidade deste trabalho, em trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Visão Geral do RTQ-C

2.1 – Histórico de implantação

Em 17 de setembro de 2010, foi publicada no Diário Oficial da União, através da portaria nº 372 (Brasil, 2010), a aprovação da revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), de autoria do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, através do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. A primeira versão deste documento, data de 27 de fevereiro de 2009, publicada na portaria nº 53 do INMETRO (INMETRO, 2009), sendo que em junho deste mesmo ano já houve uma primeira revisão (portaria nº163, de 08 de junho de 2009) (INMETRO, 2009). O texto desta norma estabelece três importantes considerações:

- “A necessidade de zelar pela eficiência energética dos edifícios comerciais, de serviços e públicos”;
- “A necessidade de estabelecer requisitos mínimos de desempenho para os edifícios comerciais, de serviços e públicos”;
- “A necessidade de estabelecer regras equânimes e de conhecimento público para os segmentos de projeto e construção de edifícios comerciais, de serviços e públicos”.

Desta forma, se estabelece no Brasil a regulamentação para a aplicação dos conceitos de eficiência energética predial, objetivando a classificação dos prédios pelo processo de etiquetagem. O regulamento é direcionado especificamente a edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados, ou seja, os que possuem condicionamento artificial, os que possuem condicionamento artificial associado à ventilação natural e os que possuem apenas a ventilação natural. Os edifícios de uso misto (residencial/comercial, residencial/serviços ou residencial/público) devem ter a parcela não residencial avaliada separadamente. Outra exceção à regra geral são os estádios, que devem ser avaliados sob regras específicas, determinadas em um dos anexos do regulamento.

2.2 – Procedimentos iniciais

O processo de etiquetagem pode ser baseado em dois métodos distintos, prescritivo ou simulação. O método prescritivo, de forma geral, baseia-se no cálculo de uma série de variáveis referentes aos aspectos construtivos da edificação, seguido da comparação dos valores obtidos com valores-base definidos no regulamento. Já o método da simulação, mais complexo, utiliza ferramentas computacionais, e de acordo com o regulamento seu uso é sugerido em “edificações onde o PAF_T (Percentual de Área de Abertura na Fachada Total) é elevado, os vidros possuem alto desempenho e/ou os elementos de sombreamento são diferenciados por orientação”, RTQ-C (2013).

O nível de eficiência energética de uma determinada edificação classificada através do RTQ-C será o resultado da análise do nível de eficiência de três sistemas distintos, conforme a metodologia definida no regulamento. Estes sistemas são:

- A Envoltória da edificação,
- O Sistema de Iluminação e
- O Sistema de Condicionamento de Ar.

Cada um dos três sistemas, após a devida análise receberá uma nota, ou nível de eficiência distinto, variando entre A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente). No sistema de condicionamento de ar, pode ser avaliada também a ventilação natural da edificação, se houver. Para se obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, os três sistemas devem ser avaliados a partir de uma das combinações de métodos apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Combinações de métodos para obtenção da ENCE.

Envoltória	Sist. de Iluminação	Sist. de Cond. Ar	Ventilação Natural
Prescritivo	Prescritivo	Prescritivo	Simulação
Simulação	Simulação	Simulação	Simulação
Simulação	Prescritivo	Prescritivo	Simulação

Fonte: RTQ-C.

A avaliação de cada sistema individual receberá uma nota correspondente ao Equivalente Numérico obtido como resultado do método aplicado, como ilustrado na tabela 2:

Tabela 2 – Níveis de eficiência e seus equivalentes numéricos correspondentes.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-C.

Desta forma, a classificação final de eficiência energética de uma edificação, será o resultado de sua pontuação total (PT), que por sua vez, será o resultado da soma das avaliações dos equivalentes numéricos dos três sistemas analisados de acordo com a equação 1:

$$PT = 0,30 \left[\left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right] + 0,30 (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \left[\left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right] + b \quad (1)$$

Onde:

EqNumEnv = equivalente numérico da envoltória;

AC = área útil dos ambientes condicionados;

AU = área útil;

APT = área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC = área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural através do método da simulação;

EqNumV = equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

EqNumDPI = equivalente numérico do sistema de iluminação (a sigla DPI refere-se à “Densidade de Potência de Iluminação”);

EqNumCA = equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

b = pontuação obtida por bonificações, que podem variar de zero à um.

Nota-se também na equação 1 que são atribuídos pesos a cada um dos três sistemas: 30% para a envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar, por representar, usualmente, o sistema com maior gasto energético nas edificações.

De acordo com o valor obtido pela equação 1 a classificação geral da edificação será definida de acordo com a tabela 3:

Tabela 3 – Classificação geral.

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

Fonte: RTQ-C.

2.3 – Pré-requisitos gerais

Além dos pré-requisitos específicos, que serão tratados posteriormente, na explicação de cada um dos sistemas, a edificação que será analisada no processo de etiquetagem deve obedecer os seguintes requisitos mínimos:

- Circuitos elétricos:

Devem ser separados por uso final ou possuir equipamento instalado que permita a medição por uso final.

As exceções à esta regra são hotéis (desde que possuam desligamento automático para os quartos), edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo (shoppings) e edificações cuja data de construção seja anterior a junho de 2009. A não obediência deste critério classificará a edificação com no máximo nível C;

- Aquecimento de água:

Em edificações que apresentem elevada demanda de água quente ou em que a parcela de água quente represente um percentual maior ou igual a 10% do consumo total de energia, deve ser apresentada uma estimativa da demanda de água quente.

Para se obter o nível A, deve-se comprovar que 100% da demanda de água quente da edificação é atendida por sistemas de aquecimento solar, aquecedores a gás do tipo instantâneo, sistemas de aquecimento de água por bombas de calor ou caldeiras a gás, todos obedecendo níveis determinados de eficiência previstos no regulamento.

Para o nível B, deve-se comprovar que um percentual igual ou superior a 70% da demanda de água quente da edificação é atendida por sistemas de aquecimento solar, aquecedores a gás do tipo instantâneo ou sistemas de aquecimento de água por bombas de calor, todos obedecendo níveis determinados de eficiência previstos no regulamento.

Finalmente, edifícios com sistema de aquecimento solar e a gás que atendam ao menos 70% da demanda de água quente e sejam complementados por sistemas elétricos ou edifícios que possuam apenas o aquecimento de água por sistemas elétricos atingirão no máximo o nível de eficiência C, desde que atendam os pré-requisitos de eficiência previstos no regulamento para aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas, aquecedores elétricos de hidromassagem e aquecedores elétricos por acumulação (boiler).

- Isolamento de tubulações:

Em edificações onde exista a alta demanda de água quente, o projeto de instalações hidrossanitárias deve comprovar que as tubulações metálicas ou não metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima de acordo com o regulamento.

2.4 – Bonificações

Como mencionado anteriormente, somando à Pontuação Total da edificação, é previsto no regulamento um valor que pode variar de zero a um, denominado de “bonificação”, que reconhece iniciativas de eficiência energética na edificação, desde que justificadas e com a comprovação da economia gerada. Esta pontuação pode ser resultado de:

- Sistemas de racionalização do uso da água, desde que representem uma economia de 40% no consumo anual de água do edifício. Exemplos: aproveitamento da água pluvial e torneiras com temporizadores;
- Sistemas ou fontes de energia renováveis, como a energia eólica ou painéis fotovoltaicos, gerando energia para a edificação, desde que proporcionem uma economia mínima de 10% ao ano no consumo energético do edifício. Nesta categoria também pode ser utilizado o aquecimento solar da água, para edificações em que o processo de aquecimento da água represente um percentual igual ou maior que 10% do consumo total de energia;
- Sistemas de cogeração e inovações técnicas, como por exemplo a iluminação natural dos ambientes, desde que proporcionem uma economia mínima de 30% no consumo anual de energia.

- Edifícios com elevadores que atingirem nível A através de avaliação pela norma VDI 4707 receberão 0,5 pontos. Caso exista mais de um elevador na edificação, todos deverão obter a classificação nível A para que a edificação possa receber a pontuação em bonificação.

2.5 – Cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv)

O cálculo do equivalente numérico de eficiência energética da envoltória é o mais complexo dos três cálculos que devem ser realizados para se chegar ao nível de eficiência energética de uma edificação de acordo com o RTQ-C. O procedimento para determinação do EqNumEnv necessita do cálculo de uma série de variáveis relativas aos aspectos arquitetônicos da edificação analisada, que serão tratadas apenas brevemente neste trabalho, pois não representam o objetivo principal do estudo.

2.5.1 – Pré-requisitos específicos da Envoltória

Os pré-requisitos específicos da Envoltória estabelecem, para três grandezas distintas, valores limites para cada nível de eficiência, disponíveis em tabelas no regulamento. Como este tipo de cálculo não é o objetivo principal deste trabalho, será apresentada apenas a definição dos conceitos e as figuras 12 e 13, resumindo os valores encontrados no regulamento.

Assim sendo, primeiramente a definição dos pré-requisitos:

- Transmitância térmica (U): é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das paredes externas e coberturas;
- Absortância térmica (α): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;
- Iluminação zenital: é uma técnica de iluminação natural onde a luz solar é distribuída através de átrios, claraboias, cúpulas, etc.

E, finalmente, as figuras-resumo dos valores propostos pelo regulamento:

Figura 12 – Resumo dos pré-requisitos da envoltória – parte 1.

Zona Bioclimática	U _{máx}	α _{máx}	Nível
1	1,00	-	A
2			
3 a 6	3,70	0,5	
7 e 8	2,50*		
	3,70		
1 e 2	2,00	-	B
3 a 6	3,70		
7 e 8	2,50*		
	3,70		
1 a 6	3,70	-	C
7 e 8	2,50*		D
	3,70		

* (CT≤80kJ/m²K)

Fonte: Gedae/UFPA.

Figura 13 – Resumo dos pré-requisitos da envoltória – parte 2.

Zona Bioclimática	U _{máx}		α _{máx}	Iluminação Zenital	Nível
	Cond.	Não Cond.			
1	0,50	1,00	-	até 5%	A
2					
3 a 8	1,00	2,00	0,5		
1	1,00	1,50	-	até 5%	B
2					
3 a 8	1,50	2,00	0,5		
1 a 8	2,00	2,00			C
					D

Fonte: Gedae/UFPA.

2.5.2 – Procedimento de determinação da eficiência da Envoltória

Em síntese, o procedimento para determinação do EqNumEnv inicia-se pela determinação da Zona Bioclimática em que está inserida a edificação em análise. O Zoneamento bioclimático brasileiro é estabelecido por norma, especificamente, pela NBR 15220 – parte 3. No RTQ-C algumas das 8 zonas bioclimáticas brasileiras foram

agrupadas, por apresentarem comportamentos climáticos semelhantes e, consequentemente, diretrizes construtivas semelhantes.

Assim sendo, para cada zona, ou grupo de zonas, o RTQ-C define duas equações a serem usadas, a primeira para edifícios com área de projeção menor que 500 m² e outra para edifícios com área de projeção (A_{pe}) maior que 500 m². No caso da edificação escolhida neste trabalho, serão usadas as equações para a zona bioclimática 8, onde está inserida a cidade de Belém-PA. Esta zona, no regulamento, está agrupada com a zona 6, e os cálculos necessários à determinação da eficiência energética devem seguir as equações 2 e 3 a seguir:

- Para $A_{pe} \leq 500$ m², Limite: Fator de forma máximo = 0,48:

$$IC_{env} = 454,47.FA - 1641,37.FF + 33,47.PAF_T + 7,06.FS + 0,31.AVS - 0,29.AHS - 1,27.PAF_T.AVS + 0,33.PAF_T.AHS + 718 \quad (2)$$

- Para $A_{pe} > 500$ m², Limite: Fator de forma mínimo = 0,17:

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58 \quad (3)$$

Onde, as variáveis das equações x e y são:

IC_{env} : Indicador de consumo da envoltória (adimensional);

A_{pe} : Área de projeção do edifício (m²);

A_{tot} : Área total construída (m²);

A_{env} : Área da envoltória (m²);

A_{pcob} : Área de projeção da cobertura (m²);

AVS: Ângulo vertical de sombreamento;

AHS: Ângulo horizontal de sombreamento;

FF: Fator de forma (A_{env}/V_{tot});

FA: Fator altura (A_{pcob}/A_{tot});

FS: Fator solar;

PAF_T: Percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação);

V_{tot} : Volume total da edificação (m³).

De posse do valor calculado do Indicador de Consumo da envoltória (IC_{env}), para se obter o nível de eficiência, deve-se efetuar uma comparação com outros valores para determinar em qual faixa o valor encontrado está inserido. Desta forma, o regulamento estabelece o seguinte procedimento:

- Calcula-se o IC_{env} com os dados de projeto da edificação;

- b) Efetua-se novo cálculo do IC_{env} porém, substituindo algumas variáveis por valores pré-estabelecidos: $PAF_T = 0,60$, $FS = 0,61$, $AVS = 0$ e $AHS = 0$. O valor encontrado neste passo será o valor limite para que a edificação se classifique no nível D, IC_{maxD} . Se o valor encontrado no passo “a” for maior, ela será classificada como nível E;
- c) Em seguida, calcula-se novo valor para IC_{env} , com os valores: $PAF_T = 0,05$, $FS = 0,87$, $AVS = 0$, $AHS = 0$, que será o limite mínimo, IC_{min} ;
- d) Os valores encontrados nos passos anteriores, IC_{maxD} e IC_{min} , estabelecem o intervalo dentro do qual a edificação deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se referindo a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i dos intervalos é calculada de acordo com a equação 4:

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

- e) Com o valor de i calculado, preenche-se a tabela 4:

Tabela 4 – Limites dos intervalos de níveis de eficiência.

Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
Lim. Mín.	--	$IC_{maxD} - 3i + 0,01$	$IC_{maxD} - 2i + 0,01$	$IC_{maxD} - i + 0,01$	$IC_{maxD} + 0,01$
Lim. Máx.	$IC_{maxD} - 3i$	$IC_{maxD} - 2i$	$IC_{maxD} - i$	IC_{maxD}	--

Fonte: RTQ-C.

- f) Finalmente, compara-se o valor de IC_{env} , calculado no primeiro passo com os valores da tabela, determinando, de acordo com a faixa em que o valor se posicionar, o nível de eficiência do edifício analisado.

2.6 – Cálculo do Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação (EqNumDPI)

Para a determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação de uma edificação e conseqüentemente para a determinação do Equivalente Numérico de Densidade de Potência de Iluminação, o regulamento oferece dois métodos distintos. Porém, previamente à aplicação de um dos métodos, deve-se atentar aos pré-requisitos específicos deste sistema.

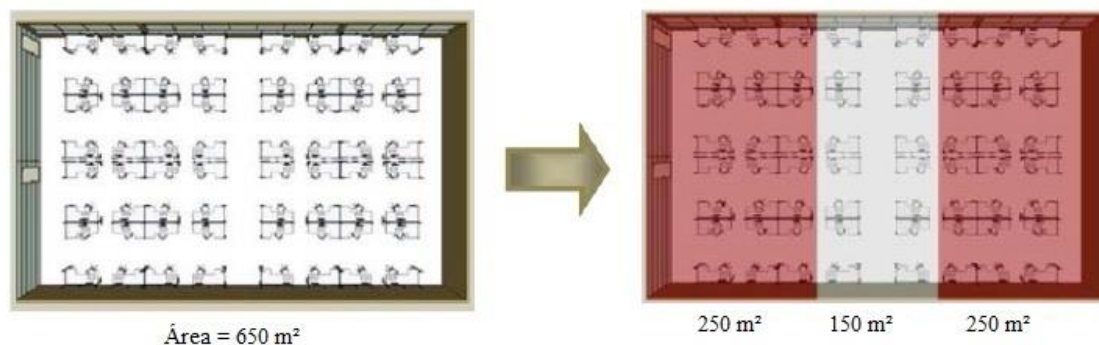
2.6.1 – Pré-requisitos específicos do Sistema de Iluminação

- Divisão dos circuitos:

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 do ambiente. Este dispositivo deve estar facilmente acessível, e do ponto de acionamento deve-se poder ver todo o sistema de iluminação controlado. Para o caso de ambientes maiores, é necessário informar ao usuário, por meio de uma representação gráfica, a extensão do sistema controlado pelo dispositivo. Deve-se respeitar também os limites

impostos pelo regulamento de tamanho do ambiente por dispositivo de controle, onde, para ambientes com área menor que 1000m^2 deve haver um dispositivo controlando cada 250m^2 do ambiente (no máximo), como ilustrado na figura 14, e em ambientes com área maior que 1000m^2 , um dispositivo controlando a iluminação de ambientes de até 1000m^2 ;

Figura 14 – Ilustração da divisão do controle de acionamento da iluminação por área.



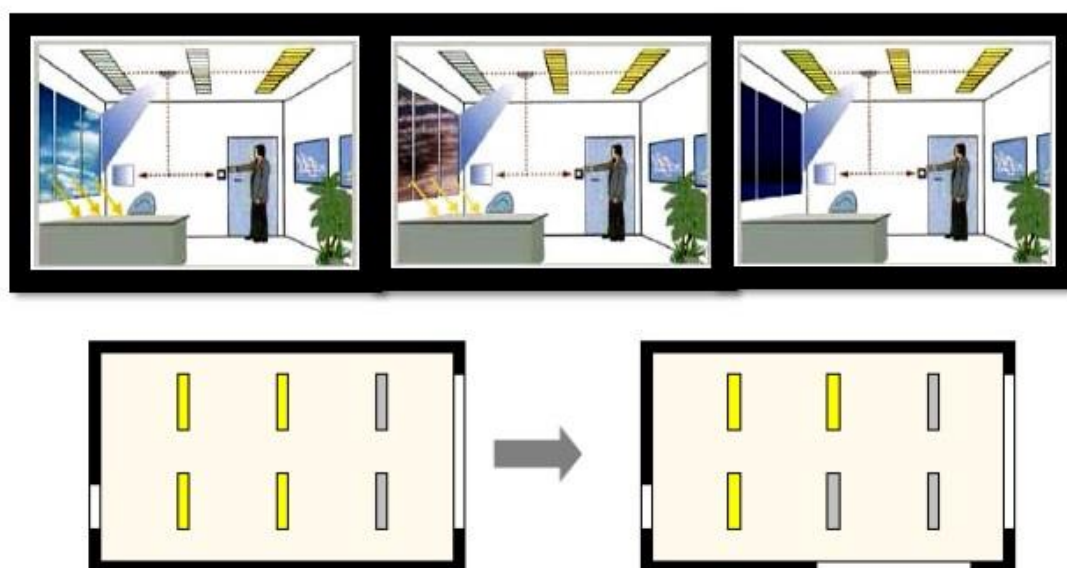
Fonte: Manual para Aplicação do RTQ-C

- Contribuição da luz natural:

As fileiras de luminárias mais próximas das aberturas fornecedoras de iluminação natural devem ter acionamento independente, para que se possa fazer o uso correto da luz solar, como exemplificado pela figura 15.

Exceção: Unidades de edifício de meios de hospedagem (hotéis).

Figura 15 – Ilustração da independência necessária ao acionamento da fileira de luminárias mais próxima às janelas.



Fonte: GEDAE, UFPA.

- Desligamento automático:

Em ambientes internos com área maior que 250m² deve haver a presença de sistema de desligamento automático da iluminação, efetuado através de desligamento por horário pré-determinado, sensores de presença, sinal de algum outro controle ou sistema de alarme que indique que a área esteja desocupada.

Exceções: ambientes que devem funcionar durante 24 horas, ambientes onde ocorra o tratamento ou o repouso de pacientes e ambientes onde o desligamento automático da iluminação possa oferecer algum tipo de risco aos usuários.

Desta forma, além do cálculo da densidade de potência de iluminação, os pré-requisitos específicos influenciarão na nota final do sistema de iluminação como ilustra a tabela 5:

Tabela 5 – Pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação

Pré-Requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos Circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição de luz natural	Sim	Sim	--
Desligamento automático	Sim	--	--

Fonte: RTQ-C

2.6.2 – Procedimento de determinação da eficiência do sistema de iluminação

Para estabelecer o nível de eficiência energética do sistema de iluminação de uma edificação, dois métodos distintos são propostos no regulamento, o método da área do edifício e o método das atividades do edifício. É importante ressaltar que o regulamento sugere a exclusão do cálculo da potência instalada de iluminação os “sistemas que forem complementares à iluminação geral e com controle independente nas seguintes situações”:

- Iluminação de destaque que seja parte essencial para o funcionamento de galerias, museus e monumentos;
- Iluminação contida ou parte integrante de equipamentos ou instrumentos, desde que instalada pelo próprio fabricante, como lâmpadas de refrigeradores, geladeiras, etc;
- Iluminação especificamente projetada para uso exclusivo em procedimentos médicos ou dentários e iluminação contida em equipamentos médicos ou dentários;
- Iluminação contida em refrigeradores e *freezers*, tanto abertos quanto fechados por vidro;
- Iluminação totalmente voltada a aquecimento de alimentos e em equipamentos de preparação de alimentos;
- Iluminação totalmente voltada ao crescimento de plantas ou sua manutenção;
- Iluminação em ambientes especificamente projetados para uso de deficientes visuais;

- Iluminação em vitrines de lojas varejistas, desde que a área da vitrine seja fechada por divisórias cuja altura alcance o forro;
- Iluminação em ambientes internos que sejam especificamente designados como um bem cultural tombado, de acordo com o IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional ou outros órgãos municipais ou estaduais de competência análoga;
- Iluminação totalmente voltada à propaganda ou à sinalização;
- Sinais indicando saída e luzes de emergência;
- Iluminação à venda ou sistemas de iluminação para demonstração com propósitos educacionais;
- Iluminação para fins teatrais, incluindo apresentações ao vivo e produções de filmes e vídeos;
- Áreas de jogos ou atletismo com estrutura permanente para transmissão pela televisão;
- Iluminação de circulação externa;
- Iluminação de tarefa ligada diretamente em tomadas, como luminária de mesa.

2.6.2.1 – Método da Área do Edifício

É o método mais simples dos dois, pois avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Sua utilização é recomendada para edifícios com até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% do edifício a ser analisado.

O processo de avaliação segue, resumidamente, as etapas a seguir:

- a) Identifica-se a atividade principal do edifício, de acordo com as atividades listadas na tabela 6 do regulamento. Atividades não listadas devem ser substituídas por atividades equivalentes. Nesta mesma tabela, identificam-se os valores de DPI_L limite para cada nível de eficiência (A, B, C, D);
- b) Determina-se a área iluminada da edificação;
- c) Multiplica-se o valor da área iluminada pelos valores limites de DPI_L , afim de se obter os valores limites para a edificação em análise;
- d) Quando houver mais de uma atividade principal, determina-se a DPI_L para cada atividade distinta, fazendo a multiplicação da área iluminada específica de cada atividade pelo seu valor correspondente na tabela 6 do regulamento. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites de cada atividade;
- e) Compara-se a potência total instalada no edifício com os valores encontrados pelo cálculo do passo anterior, verificando em qual intervalo dos valores de DPI_L limites a potência total instalada se encontra;
- f) Verifica-se a conformidade com os pré-requisitos;
- g) Se houver alguma não conformidade, corrige-se o EqNumDPI.

Tabela 6 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função do Edifício	DPI Limite – Nível A	DPI Limite – Nível B	DPI Limite – Nível C	DPI Limite – Nível D
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e locação de veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: Fast-food	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12,0	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clinica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura – Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12,0
Tribunal	11,3	13,0	14,7	16,4

Fonte: RTQ-C

Para ilustrar melhor o processo, será mostrado um simples exemplo a seguir:

Em uma instalação que possua função principal de correio, com área total de 600 m² e potência total de iluminação instalada de 5000 W, o cálculo do nível de eficiência seguiria os seguintes passos:

- Identifica-se a função do edifício, de acordo com a tabela 6. Neste caso, para Correios, a tabela fornece os seguintes valores de DPI_L, destacados na tabela 7:

Tabela 7 – DPI limite para edifícios com função “Correios”

Função do Edifício	DPI Limite – Nível A	DPI Limite – Nível B	DPI Limite – Nível C	DPI Limite – Nível D
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6

Fonte: RTQ-C

- De posse das informações extraídas da tabela, e da área total ($A = 600 \text{ m}^2$), multiplica-se os valores de cada nível pelo valor da área, obtendo os valores de potência limite para cada nível, em Watts (W), apresentados na tabela 8:

Tabela 8 – Valores limites para os níveis de eficiência no exemplo.

Função do Edifício	Potência	Potência	Potência	Potência
	Limite – Nível A	Limite – Nível B	Limite – Nível C	Limite – Nível D
Correios $\rightarrow A = 600 \text{ m}^2$	5640	6480	7320	8160

Fonte: o autor.

- Realizados estes cálculos, retoma-se o valor da potência instalada na edificação, de 5000 W, e efetua-se a comparação deste com os valores encontrados. Logo, para este caso tem-se que $5000 \text{ W} < 5640 \text{ W}$, valor limite para o nível A.
- Sendo assim, desde que obedecidos os pré-requisitos, o nível de eficiência energética do edifício exemplo seria nível A.

2.6.2.2 – Método das Atividades do Edifício

Este segundo método é um pouco mais complexo que o anterior, pois analisa a edificação de acordo com as atividades desenvolvidas em cada um dos ambientes. É indicado para edificações onde o método da área do edifício não possa ser aplicado.

O processo de avaliação segue, resumidamente, as etapas a seguir:

- Identifica-se cada uma das atividades desempenhadas nos diferentes ambientes da edificação, de acordo com a tabela 9 do regulamento;
- Ainda na tabela 9, identificam-se os valores de DPI_L para cada nível de eficiência de cada uma das atividades desempenhadas no edifício. No caso de atividades não listadas, deve-se optar por uma atividade equivalente;
- Multiplica-se a área iluminada de cada atividade pelos valores de DPI_L , para se encontrar a potência limite para cada atividade. A potência limite do edifício será a soma destes valores encontrados;
- Calcula-se a potência total instalada no edifício e compara-se este valor com os valores encontrados no passo anterior, identificando em qual nível de eficiência o edifício se encontra;
- Verifica-se a obediência aos pré-requisitos. Em caso de não conformidade, o EqNum deve ser corrigido.

Tabela 9 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício.

Ambientes / Atividades	Limite do Ambiente		DPI_L – Nível A	DPI_L – Nível B	DPI_L – Nível C	DPI_L – Nível D
	K	RCR				
Armazém, Atacado:						
Material pequeno/leve	0,80	6	10,20	12,24	14,28	16,32
Material médio/volumoso	1,20	4	5,00	6,00	7,00	8,00
Átrio – por metro de altura:						
Até 12,20m	--			0,36 ¹	0,42 ¹	0,48 ¹
Acima de 12,20m	--			0,24 ¹	0,28 ¹	0,32 ¹

			0,30 ¹			
			0,20 ¹			
Auditórios e Anfiteatros:						
Auditório	0,80	6	8,50	10,20	11,90	13,60
Centro de Convenções	1,20	4	8,80	10,56	12,32	14,08
Cinema	1,20	4	5,00	6,00	7,00	8,00
Teatro	0,60	8	26,20	31,44	36,68	41,92
Banco/Escritório – Área de atividades bancárias	0,80	6	14,90	17,88	20,86	23,84
Banheiros	0,60	8	5,00	6,00	7,00	8,00
Biblioteca:						
Área de arquivamento	1,20	4	7,80	9,36	10,92	12,48
Área de leitura	1,20	4	10,00	12,00	14,00	16,00
Área de estantes	1,20	4	18,40	22,08	25,76	29,44
Casa de Máquinas	0,80	6	6,00	7,20	8,40	9,60
Centro de Convenções – Espaço de exposições	1,20	6	15,60	18,72	21,84	24,96
Circulação	< 2,4m de largura		7,10	8,52	9,94	11,36
Comércio:						
Área de vendas	0,80	6	18,10	21,72	25,34	28,96
Pátio de área comercial	1,20	4	11,80	14,16	16,52	18,88
Provador	0,60	8	10,20	12,24	14,28	16,32
Cozinhas	0,80	6	10,70	12,84	14,98	17,12
Depósitos	0,80	6	5,00	6,00	7,00	8,00
Dormitórios – Alojamentos	0,60	8	4,10	4,92	5,74	6,56
Escadas	0,60	10	7,40	8,88	10,36	11,84
Escritório	0,60	8	11,90	14,28	16,66	19,04
Escritório – Planta livre	1,20	4	10,50	12,60	14,70	16,80
Garagem	1,20	4	2,00	2,40	2,80	3,20
Ginásio/Academia						
Área de Ginástica	1,20	4	7,80	9,36	10,92	12,48
Arquibancada	1,20	4	7,50	9,00	10,50	13,00
Esportes de ringue	1,20	4	28,80	34,56	40,32	46,08
Quadra de esportes – classe 4 ²	1,20	4	7,80	9,36	10,92	12,48
Quadra de esportes – classe 3 ³	1,20	4	12,90	15,48	18,06	20,64
Quadra de esportes – classe 2 ⁴	1,20	4	20,70	24,84	28,98	33,12
Quadra de esportes – classe 1 ⁵	1,20	4	32,40	38,88	45,36	51,84
Hall de entrada – Vestíbulo	1,20	4	8,00	9,60	11,20	12,80
Cinemas	1,20	4	8,00	9,60	11,20	12,80
Hotel	1,20	4	8,00	9,60	11,20	12,80
Salas de Espetáculos	1,20	6	8,00	9,60	11,20	12,80
Hospital:						
Circulação	<2,4m	Largura	9,60	11,52	13,44	15,36
Emergência	0,80	6	24,30	29,16	34,02	38,88
Enfermaria	0,80	6	9,50	11,40	13,30	15,20
Exames/Tratamento	0,60	8	17,90	21,48	25,06	28,64
Farmácia	0,80	6	12,30	14,76	17,22	19,68
Fisioterapia	0,80	6	9,80	11,76	13,72	15,68
Sala de espera, estar	0,80	6	11,50	13,80	16,10	18,40
Radiologia	0,80	6	14,20	17,04	19,88	22,72
Recuperação	0,80	6	12,40	14,88	17,36	19,84
Sala de Enfermeiros	0,80	6	9,40	11,28	13,16	15,04
Sala de Operação	0,80	6	20,30	24,36	28,42	32,48

¹ Por metro de altura.

² Para competições em estádios e ginásios de grande capacidade, acima de 5000 espectadores.

³ Para competições em estádios e ginásios com capacidade para menos de 5000 espectadores.

⁴ Para estádios e ginásios de jogos classificatórios, considerando a presença de espectadores.

⁵ Para quadras de jogos sociais e de recreação apenas, não considera a presença de espectadores.

Quarto de pacientes	0,80	6	6,70	8,04	9,38	10,72
Suprimentos médicos	0,80	6	13,70	16,44	19,18	21,92
Igreja, Templo:						
Assentos	1,20	4	16,50	19,80	23,10	26,40
Altar, Coro	1,20	4	16,50	19,80	23,10	26,40
Sala de comunhão – nave	1,20	4	6,90	8,28	9,66	11,04
Lavanderia	1,20	4	6,50	7,80	9,10	10,40
Museu:						
Restauração	0,80	6	11,00	13,20	15,40	17,60
Sala de Exibição	0,80	6	11,30	13,56	15,82	18,08
Oficina – Seminário, cursos	0,80	6	17,10	20,52	23,94	27,36
Oficina Mecânica	1,20	4	6,00	7,20	8,40	9,60
Quartos de Hotel	0,80	6	7,50	9,00	10,50	13,00
Refeitório	0,80	6	11,50	13,80	16,10	18,40
Restaurante – salão:	1,20	4	9,60	11,52	13,44	15,36
Hotel	1,20	4	8,80	10,56	12,32	14,08
Lanchonete/Café	1,20	4	7,00	8,40	9,80	11,20
Bar/Lazer	1,20	4	14,10	16,92	19,74	22,56
Sala de Aula, Treinamento	1,20	4	10,20	12,24	14,28	16,32
Sala de espera, convivência	1,20	4	6,00	7,20	8,40	9,60
Sala de reuniões, Conferência, Multiuso	0,80	6	11,90	14,28	16,66	19,04
Vestiário	0,80	6	8,10	9,72	11,34	12,96
Transportes:						
Área de bagagem	1,20	4	7,50	9,00	10,50	12,00
Aeroporto – Pátio	1,20	4	3,90	4,68	5,46	6,24
Assentos – Espera	1,20	4	5,80	6,96	8,12	9,28
Terminal - Bilheteria	1,20	4	11,60	13,92	16,24	18,56

Fonte: RTQ-C

Um exemplo deste método será fornecido ao longo da dissertação, visto que este foi o método escolhido para o desenvolvimento da análise do sistema de iluminação da edificação escolhida.

2.7 – Cálculo do Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (EqNumCA)

Da mesma forma que no cálculo anterior, do sistema de iluminação artificial, para a determinação do nível de eficiência e do Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar, o regulamento dispõe de dois métodos distintos. Porém, mais uma vez, antes dos cálculos deve-se atentar aos pré-requisitos específicos para este sistema.

2.7.1 – Pré-requisitos específicos do Sistema de Condicionamento de Ar

Os pré-requisitos deste sistema são específicos para o nível A e são avaliados em cada ambiente separadamente. Assim sendo, tem-se:

- Isolamento térmico de dutos de ar:

As tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração devem apresentar as espessuras mínimas para isolamento de acordo com as tabelas 10 e 11. Para isolamentos

cuja condutividade térmica esteja fora dos limites apresentados nas tabelas, a espessura mínima do isolamento térmico deve ser determinada pela equação 5.

Tabela 10 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento.

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	<25	25 a <40	40 a <100	100 a < 200	≥ 200
$T \geq 177$	0,046 a 0,049	121	6,4	7,6	7,6	10,2	10,2
$122 < T < 177$	0,042 a 0,046	93	3,8	6,4	7,6	7,6	7,6
$94 < T < 121$	0,039 a 0,042	66	3,8	3,8	5,1	5,1	5,1
$61 < T < 93$	0,036 a 0,042	52	2,5	2,5	2,5	3,8	3,8
$41 < T < 60$	0,032 a 0,040	38	1,3	1,3	2,5	2,5	2,5

Fonte: RTQ-C

Tabela 11 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de refrigeração.

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	<25	25 a <40	40 a <100	100 a < 200	≥ 200
$4 < T < 16$	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
$T < 4$	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4,0

Fonte: RTQ-C

$$E = r \left\{ \left(1 + \frac{e}{r} \right)^{\lambda/\lambda'} - 1 \right\} \quad (5)$$

Onde:

E: espessura mínima de isolamento (cm);

r: raio externo da tubulação (cm);

e: espessura de isolamento listada na tabela 2.5 do regulamento do RTQ-C;

λ : condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura do fluido (W/m.K);

λ' : valor superior do intervalo de condutividade listado nesta tabela para a temperatura do fluido.

- Condicionamento de ar por aquecimento artificial:

Em edificações onde haja a necessidade de se adotar um sistema de aquecimento artificial, devem ser atendidos os níveis mínimos de eficiência energética para cada um dos itens previstos no regulamento. São eles:

- Sistemas com bomba de calor, independente da sua capacidade, devem apresentar um COP (Coeficiente de Performance) para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360;

- b) Sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso devem apresentar um COP para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360;
- c) Caldeiras a gás devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na tabela 12.

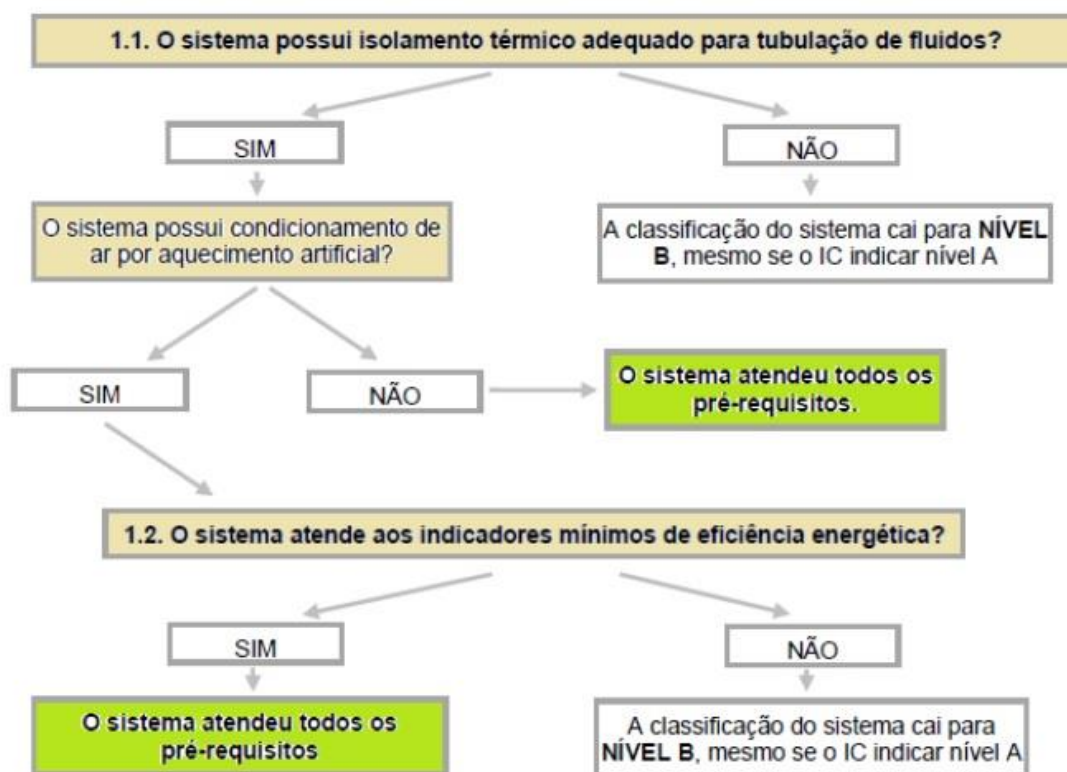
Tabela 12 – Eficiência mínima para caldeiras de água a gás.

Tipo de equipamento	Capacidade	Subcategoria	Eficiência mínima	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação a gás	> 22,98 kW	< 309,75 W/L	80% Et (Q/800 + 110√V) SL,W	ANSI Z21.10.3

Fonte: RTQ-C

Um resumo do processo abordado anteriormente está ilustrado pela figura 16:

Figura 16 – Fluxograma dos pré-requisitos para o sistema de condicionamento de ar.



Fonte: Manual de aplicação do RTQ-C.

2.7.2 – Procedimento de determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar

O procedimento para determinação do nível de eficiência e do Equivalente Numérico do sistema de condicionamento de ar torna-se muito simples quando os aparelhos condicionadores de ar, do tipo janela ou Split, utilizados na edificação, já foram avaliados no processo de etiquetagem do PBE/INMETRO, já possuindo o seu nível de eficiência energética individual determinado.

Nesta situação, o cálculo é baseado apenas em uma ponderação de cada ambiente e seu aparelho condicionador de ar em relação aos totais de área, carga térmica e níveis de eficiência determinados pela ENCE obtida pelos aparelhos. Estas, são disponibilizadas para livre acesso via internet pelo INMETRO.

Um exemplo deste método será desenvolvido no próximo capítulo, quando for apresentada a análise do sistema de condicionamento de ar da edificação que foi estudada.

Por outro lado, quando os aparelhos não forem previamente certificados, o regulamento estabelece uma série de requisitos que devem ser obedecidos, que por sua alta complexidade não serão tratados neste trabalho.

Capítulo 3 – Aplicação do RTQ-C no Edifício do Ceamazon

3.1 - Apresentação

A edificação escolhida para análise neste trabalho foi o prédio do Ceamazon – Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (Figura 17), laboratório de pesquisa situado no Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, em Belém-PA. O laboratório foi fruto de uma parceria entre a UFPA – Universidade Federal do Pará, o governo do Estado do Pará e a Eletrobras e engloba uma área total construída de 1907,98 m².

Funcionando desde 2010 é um importante centro de pesquisas não só na área de eficiência energética como também em sistemas de potência e qualidade da energia elétrica.

O edifício do Ceamazon compreende um andar térreo e mais dois pavimentos, possuindo um auditório com capacidade para um pouco mais de 100 pessoas, uma cafeteria, uma biblioteca, duas salas de aula, uma sala para reuniões, seis salas para professores, sete laboratórios de pesquisa e três banheiros por andar (masculino, feminino e PNE), dentre outros espaços menores, listados com mais detalhes no decorrer deste capítulo.

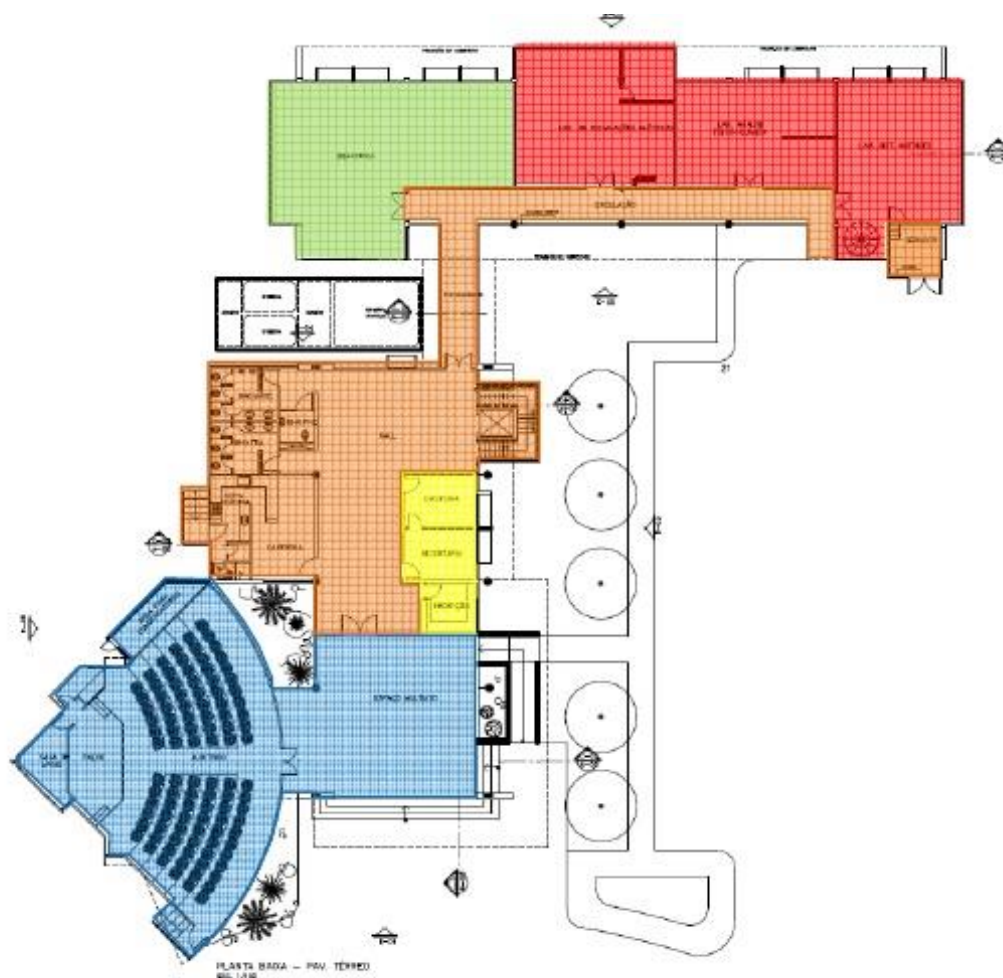
Figura 17 – Vista externa do prédio do Ceamazon



Fonte: Arquivo Ceamazon.

O andar térreo e os dois pavimentos do edifício do Ceamazon, são apresentados com mais detalhes nas plantas-baixas de cada um, figuras 18, 19 e 20, a seguir:

Figura 18 – Planta baixa do andar térreo do Ceamazon.



Fonte: Arquivo Ceamazon.

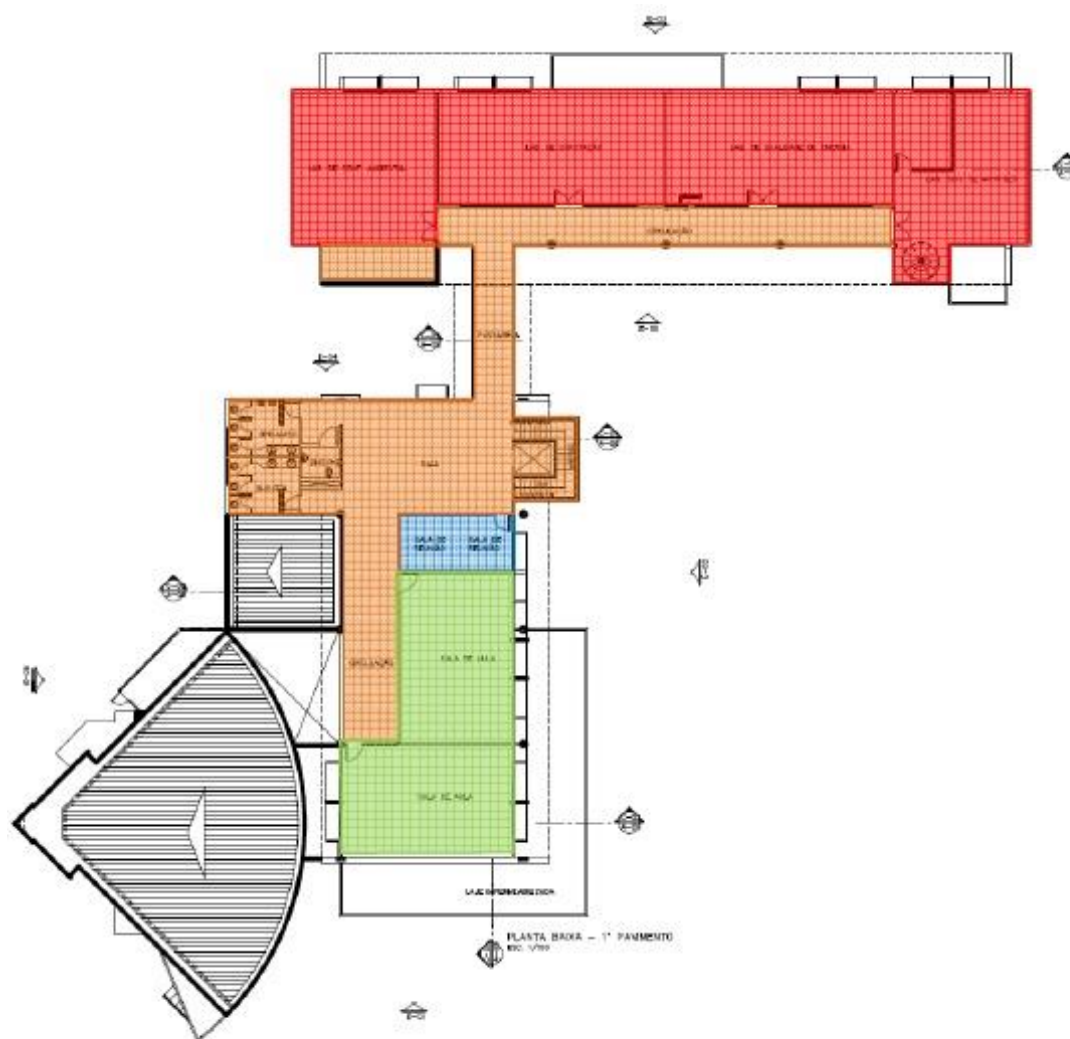
Legenda:

Tabela 13 – Discriminação dos ambientes – andar térreo.

Cor	Ambiente
Azul	Auditório, Espaço multiuso
Amarelo	Secretaria, Diretoria, Recepção
Laranja	Hall, cafeteria, banheiros, circulação
Verde	Biblioteca
Vermelho	Laboratórios de pesquisa

Fonte: o autor.

Figura 19 – Planta baixa do primeiro pavimento do Ceamazon.



Fonte: Arquivo Ceamazon.

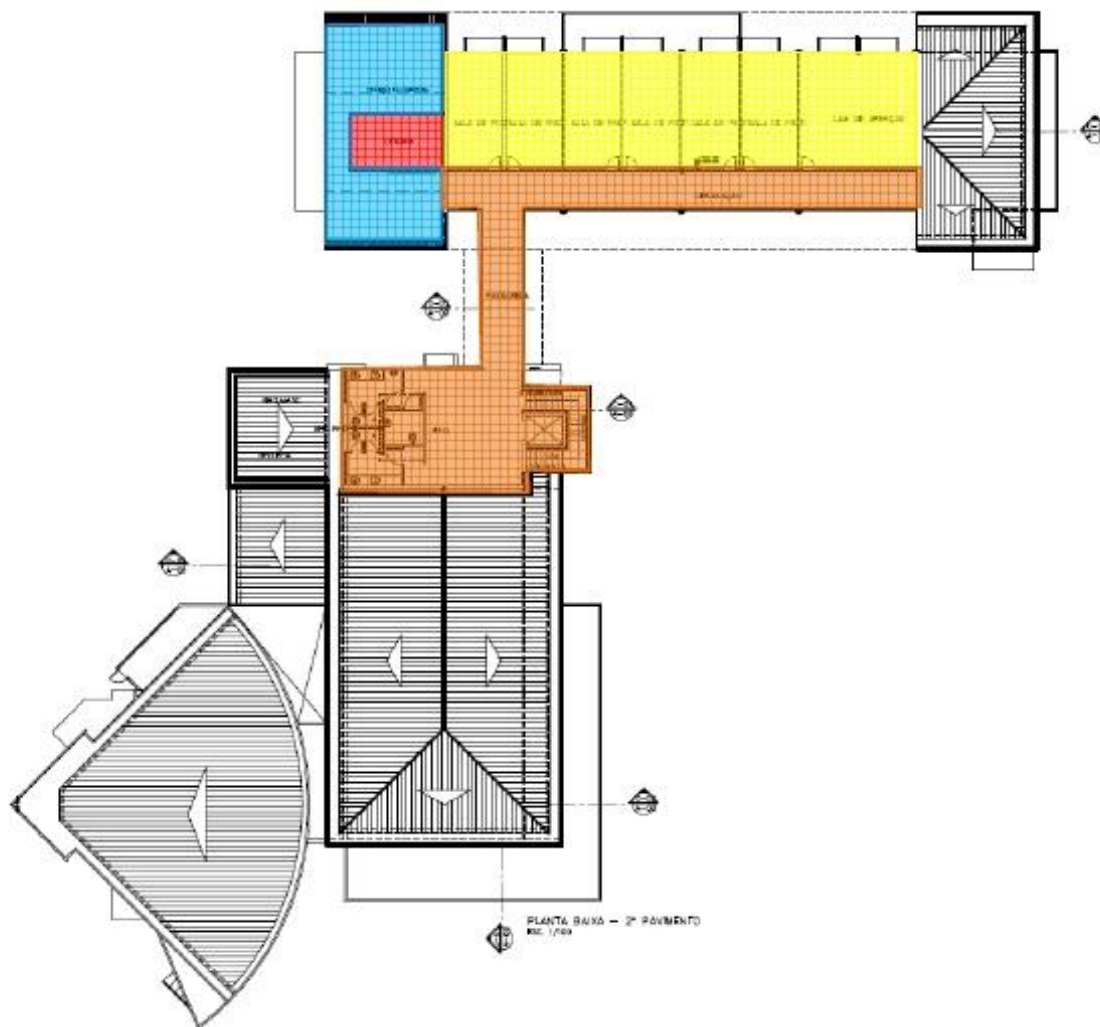
Legenda:

Tabela 14 – Discriminação dos ambientes – 1º pavimento.

Cor	Ambiente
Azul	Sala de reunião
Laranja	Hall, banheiros, circulação, escadas
Verde	Salas de aula
Vermelho	Laboratórios de pesquisa

Fonte: o autor.

Figura 20 – Planta baixa do segundo pavimento do Ceamazon.



Fonte: Arquivo Ceamazon.

Legenda:

Tabela 15 – Discriminação dos ambientes – 2º pavimento.

Cor	Ambiente
Amarelo	Salas dos professores, Lab. de aferição
Azul	Estação meteorológica
Laranja	Hall, banheiros, circulação, escadas
Vermelho	Oficina

Fonte: o autor.

3.2 – Análise da Envoltória

Uma análise prévia da envoltória do Ceamazon já havia sido realizada por Oliveira (2013). Tendo produzido resultados bastante satisfatórios, decidiu-se por utilizar os resultados previamente obtidos.

De forma resumida, os resultados obtidos foram:

- Fator de Altura: $FA = 0,35$;
- Fator de Forma: $FF = 0,36$;
- Percentual de Área de Abertura na Fachada Total: $PAF_T = 0,08$;
- Fator Solar: $FS = 0,86$;
- Ângulo Vertical de Sombreamento: $AVS = 0,45^\circ$;
- Ângulo Horizontal de Sombreamento: $AHS = 60,13^\circ$;

De posse destes valores, e utilizando a equação de IC_{env} para edifícios com área de projeção maior que 500 m^2 , na zona bioclimática 8, o valor encontrado para IC_{env} foi:

- $IC_{env} = 276,34$

E, após a determinação dos índices máximo, mínimo e dos intervalos, os valores para cada nível de eficiência ficaram determinados como mostra a tabela 16:

Tabela 16 – Valores limites para os níveis de eficiência da envoltória do Ceamazon.

Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
Lim. Mín.	--	304,63	316,35	328,08	339,80
Lim. Máx.	304,62	316,34	328,07	339,79	--

Fonte: Oliveira (2013).

Desta forma, verifica-se que a envoltória do Ceamazon é classificada como nível A de eficiência energética. Porém, a manutenção deste resultado está atrelada ao cumprimento dos pré-requisitos específicos, de transmitância térmica, absorvância térmica e iluminação zenital, de forma que:

- Transmitância térmica limite para nível A (paredes): $U_{PAR} = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
No Ceamazon: $U_{PAR} = 2,43 \text{ W/m}^2\text{K}$, atendido.
- Transmitância térmica limite para nível A (cobertura): $U_{COB} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
No Ceamazon: $U_{COB} = 1,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, não atendido.
- Absortância térmica limite para nível A (paredes): $\alpha = 0,5$
No Ceamazon: $\alpha_{PAR} = 0,556$, não atendido.
- Absortância térmica limite para nível A (cobertura): $\alpha = 0,5$
No Ceamazon: $\alpha_{COB} = 0,278$, atendido.
- Iluminação zenital: não se aplica, pois não há nenhuma abertura deste modo no Ceamazon.

Assim sendo, o não cumprimento dos pré-requisitos listados anteriormente rebaixou a classificação da envoltória de nível A, para nível B, com EqNumEnv = 4.

3.3 – Análise do Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação do prédio do Ceamazon é caracterizado pela utilização predominante de lâmpadas fluorescentes, totalizando mais de 800 lâmpadas e representando um valor de 18.358,2 W de carga de iluminação instalados. O levantamento realizado da quantidade e disposição das lâmpadas e luminárias do edifício, bem como das potências individuais e totais é apresentado na tabela 17:

Tabela 17 – Levantamento da potência instalada de iluminação do Ceamazon.

Pavimento	Ambiente	Nº de luminárias	Nº de lâmpadas por luminária	Potência da lâmpada (W)	Potência da luminária (lâmpadas + reator (W)	Potência total instalada (W)
1º Pav.	Auditório	32	2	26	57,2	1830,4
	Sala de Apoio	1	2	32	70,4	70,4
	Cabine de Som	2	2	26	57,2	114,4
	Espaço Multiuso	14	2	26	57,2	800,8
	Recepção	1	4	16	70,4	70,4
	Secretaria	2	4	16	70,4	140,8
	Diretoria	2	4	16	70,4	140,8
	Cafeteria	4	2	26	57,2	228,8
	Copa / Cozinha	1	2	32	70,4	70,4
		1	2	16	35,2	35,2
	WC Serviço	1	2	16	35,2	35,2
	Despensa	1	2	26	57,2	57,2
	Hall	16	2	26	57,2	915,2
	DML	1	1	20	20	20
	Banheiro PNE	1	1	26	28,6	28,6
	Banheiro Masc.	3	1	26	28,6	85,8
	Banheiro Fem.	3	1	26	28,6	85,8
	Passarela	2	2	26	57,2	114,4
	Circulação	6	2	26	57,2	343,2
	Biblioteca	20	4	16	70,4	1408
	Lab. Inst. Elétrica	12	4	16	70,4	844,8
	Lab. Fís. Químico	9	4	16	70,4	633,6
Lab. Sist Motrizes	12	4	16	70,4	844,8	
2º Pav.	Escada	2	1	20	20	40
	Sala de Aula 1	8	4	16	70,4	563,2
	Sala de Aula 2	8	4	16	70,4	563,2
	Hall	15	2	26	57,2	858
	Sala de Reunião	4	4	16	70,4	281,6
	Banheiro PNE	1	1	26	28,6	28,6
	Banheiro Masc.	3	1	26	28,6	85,8
	Banheiro Fem.	3	1	26	28,6	85,8
	Passarela	2	2	26	57,2	114,4
	Circulação	6	2	26	57,2	343,2
	Lab. Conf. Amb.	12	4	16	70,4	844,8
	Lab. Computação	12	4	16	70,4	844,8
	Lab. Qual. Energ.	12	4	16	70,4	844,8

	Lab. Sist Motrizes	12	4	16	70,4	844,8
3º Pav.	Escada	2	1	20	20	40
	Hall	8	2	26	57,2	457,6
	Banheiro PNE	1	1	26	28,6	28,6
	Banheiro Masc.	3	1	26	28,6	85,8
	Banheiro Fem.	3	1	26	28,6	85,8
	Passarela	2	2	26	57,2	114,4
	Circulação	6	2	26	57,2	343,2
	Oficina	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 1	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 2	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 3	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 4	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 5	3	4	16	70,4	211,2
	Sala Professor 6	3	4	16	70,4	211,2
	Lab. Aferição	6	4	16	70,4	422,4
	Escadas	2	1	20	20	40

Fonte: Adaptado de Oliveira (2013)

Devido a presença de atividades variadas nos diferentes ambientes do prédio do Ceamazon, o método escolhido para a análise energética via RTQ-C foi o método das atividades do edifício. Desta forma, de posse dos valores de potência instalada, apresentados anteriormente na tabela 17, e dos valores de área de cada ambiente, foi efetuada a divisão dos ambientes de acordo com as atividades classificadas na tabela 9 do capítulo 2, agrupando os ambientes onde são desempenhadas atividades similares. Em seguida efetuou-se a multiplicação dos valores de área pelos valores de DPI_L para cada grupo de atividades. Os resultados estão ilustrados na tabela 18:

Tabela 18 – Área x potência por ambientes (atividades).

Ambiente	Pav	Área (m²)	Atividade	Pot. Inst (W)	Pot. Lim Nível A	Pot. Lim Nível B	Pot. Lim Nível C	Pot. Lim Nível D	Classif. Parcial
Auditório	1º	147,14	Auditório	2015,2	1250,69	1500,82	1750,96	2001,10	E
Sala de apoio									
Cab. De som									
Esp. Multiuso	1º	94,78	Hall de ent.	800,8	758,24	909,88	1061,53	1213,18	B
Despensa	1º	5,09	Depósitos	77,2	25,45	30,54	35,63	40,72	E
DML									
Hall	1º	236,19	Sala de espera / Convivência	2230,8	1417,14	1700,56	1983,99	2267,42	D
Hall	2º								
Hall	3º								
Cafeteria	1º	20,93	Rest./Café	228,8	146,51	175,81	205,11	234,41	D
Copa/Cozinha	1º	9,07	Cozinhas	105,6	97,04	116,45	135,86	155,27	B
WC Serviço	1º	70,08	Banheiros	635,8	350,4	420,48	490,56	560,64	E
Banh. PNE									
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									
Banh. PNE	2º								
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									
Banh. PNE	3º								
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									

Recepção	1°	134,03	Escritório	1619,2	1594,95	1913,94	2232,93	2551,93	B
Secretaria									
Diretoria									
S. de Prof. 1									
S. de Prof. 2									
S. de Prof. 3									
S. de Prof. 4									
S. de Prof. 5									
S. de Prof. 6									
Passarela	1°	186,57	Circulação	1372,8	1324,64	1589,57	1854,50	2119,43	B
Circulação									
Passarela									
Circulação									
Passarela									
Circulação									
Biblioteca	1°	106,23	Bibl. - Leitura	1408	1062,30	1274,76	1487,22	1699,68	C
Lab Inst. Elét.	1°	491,32	Laboratórios (Pesquisa)	6336	9580,74	11496,88	13413,03	15329,18	A
Lab Fis-Quim	1°								
Lab Sist Mot	1°								
Lab Sist Mot	2°								
Lab Conf Am	2°								
Lab Comp	2°								
Lab. QDE	2°								
Oficina	3°								
Lab Aferição	3°								
Escada	1°	31,20	Escadas	120	230,88	277,05	323,23	369,40	A
Escada	2°								
Escada	3°								
Sala de Aula1	2°	105,08	Salas de aula - Treinamento	1126,4	1079,16	1286,17	1500,54	1714,90	B
Sala de Aula2									
S. de Reunião	2°	17,11	S. de Reuniões	281,6	203,60	244,33	285,05	325,77	C
Área total iluminada (m²)		1654,8	Potência total instalada	18358,2	19121,74	22937,24	26760,14	30583,03	A

Fonte: Adaptado de Oliveira (2013)

Como ilustrado pela tabela 18, o sistema de iluminação do Ceamazon tem um nível de eficiência muito bom, obtendo nível A pelo método das atividades do RTQ-C. Porém, como ilustrado também pela tabela 18, ainda há espaço para melhora, visto que poucos ambientes foram classificados individualmente com nível A enquanto que outros foram classificados com nível E.

De posse do resultado obtido nos cálculos, para manter-se no nível A o sistema de iluminação do Ceamazon deve atender aos três pré-requisitos específicos vistos no capítulo anterior. Neste caso:

- Pré-requisito da divisão dos circuitos: é atendido, visto que em todos ambientes os comandos de acionamento da iluminação estão visíveis e de acordo com as limitações que o regulamento impõe;
- Pré-requisito de contribuição de luz natural: não é atendido, pois as fileiras de luminárias mais próximas das janelas não possuem o acionamento independente, requerido pelo regulamento;

- Pré-requisito do desligamento automático: não é aplicável, pois nenhum dos ambientes internos do Ceamazon possui área maior que 250m², não havendo a necessidade do cumprimento.

Desta forma, com o cumprimento de apenas dois dos três pré-requisitos específicos, a classificação final do nível de eficiência energética do sistema de iluminação do Ceamazon pelo método das atividades do RTQ-C é nível B.

3.4 – Análise do Sistema de Condicionamento de Ar

A análise do sistema de condicionamento de ar do Ceamazon foi baseada no Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visto que os aparelhos presentes na edificação já possuíam o selo indicando o seu nível de eficiência energética (A, B, C, D, E). Assim sendo o procedimento simplifica-se, bastando listar todas as unidades com suas respectivas potências e fazer uma ponderação em relação ao total da potência instalada, para que se possa saber o “peso” daquela unidade em relação ao sistema como um todo, como mostrado na tabela 19:

Tabela 19 – Dados do sistema de condicionamento de ar do Ceamazon.

Ambiente	Área (m ²)	Classificação	Quantidade	COP	BTUs
Auditório	152,09	E	2	2,50	58000
			2	2,40	35000
Recepção	7,97	A	1	2,91	9000
Secretaria	11,80	A	1	2,91	18000
Diretoria	11,60	A	1	2,91	18000
Biblioteca	106,23	C	3	2,60	30000
Lab. Inst. Elétricas	69,38	B	2	3,60	24000
Lab. Análise Físico-Química	52,51	E	1	2,40	35000
Lab. Sistemas Motrizes 1º pav.	60,96	E	1	2,50	58000
Lab. Conforto Ambiental	59,24	E	1	2,50	58000
Lab. Computação	70,21	C	1	2,60	30000
			1	3,06	24000
Lab. Qualidade de Energia	70,21	B	2	3,06	24000
Lab. Sistemas Motrizes 2º pav.	60,96	E	1	2,40	35000
Sala de reunião	17,11	B	1	2,91	18000
Sala de aula 1	52,52	B	2	2,91	18000
Sala de aula 2	52,56	B	2	2,91	18000
Lab. De Aferição	34,81	B	1	3,06	24000
Sala de Professores 1	17,11	A	1	3,21	13000
Sala de Professores 2	17,11	A	1	3,21	13000
Sala de Professores 3	17,11	A	1	3,21	13000
Sala de Professores 4	17,11	A	1	3,21	13000
Sala de Professores 5	17,11	A	1	3,21	13000
Sala de Professores 6	17,11	A	1	3,21	13000

Fonte: Adaptado de Oliveira (2013)

A partir dessas informações, primeiramente faz-se a divisão da potência por ambiente em relação à potência total instalada, para se obter um coeficiente de ponderação. Em

seguida, multiplica-se cada um dos coeficientes encontrados pelo equivalente numérico da eficiência do aparelho, obtendo-se assim um Equivalente Numérico Ponderado – EqNumP. Da soma dos EqNumP de todas as unidades condicionadoras de ar da edificação, obtém-se o valor de EqNumCA, e conseqüentemente, o nível de eficiência deste sistema para a edificação em análise, como mostra a tabela 20:

Tabela 20 – Determinação do EqNumCA

Ambiente	Classificação	EqNumCA	Potência Total do Ambiente	Coefficiente ponderado	EqNumCA ponderado
Auditório	E	1	186000	0,219	0,219
Recepção	A	5	9000	0,010	0,053
Secretaria	A	5	18000	0,021	0,106
Diretoria	A	5	18000	0,021	0,106
Biblioteca	C	3	90000	0,106	0,318
Lab. Inst. Elétricas	B	4	48000	0,056	0,226
Lab. Análise Físico-Química	E	1	35000	0,041	0,041
Lab. Sistemas Motrizes 1º pav.	E	1	58000	0,068	0,068
Lab. Conforto Ambiental	E	1	58000	0,068	0,068
Lab. Computação	C	3	54000	0,063	0,190
Lab. Qualidade de Energia	B	4	48000	0,056	0,226
Lab. Sistemas Motrizes 2º pav.	E	1	35000	0,041	0,041
Sala de reunião	B	4	18000	0,021	0,084
Sala de aula 1	B	4	36000	0,042	0,169
Sala de aula 2	B	4	36000	0,042	0,169
Lab. De Aferição	B	4	24000	0,028	0,113
Sala de Professores 1	A	5	13000	0,015	0,076
Sala de Professores 2	A	5	13000	0,015	0,076
Sala de Professores 3	A	5	13000	0,015	0,076
Sala de Professores 4	A	5	13000	0,015	0,076
Sala de Professores 5	A	5	13000	0,015	0,076
Sala de Professores 6	A	5	13000	0,015	0,076
Total	(--)	(--)	849000	0,993	2,653

Fonte: Adaptado de Oliveira (2013)

O sistema de condicionamento de ar representou o maior problema da edificação estudada. Devido a presença de alguns aparelhos de potência elevada e classificação nível E, o valor encontrado para o EqNumCA foi muito baixo, determinando a classificação final do sistema como nível C, podendo influenciar negativamente o valor final de Pontuação Total, devido ao peso maior, de 40%, atribuído ao sistema de condicionamento de ar.

3.5 – Pontuação Total

De posse dos valores obtidos para EqNumEnv, EqNumDPI e EqNumCA, para determinar o nível final de eficiência do edifício, deve-se efetuar o cálculo da pontuação total, de acordo com a equação 1, apresentada anteriormente:

$$PT = 0,30 \left[\left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right] + 0,30 (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \left[\left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right] + b$$

Onde tem-se:

$$\text{EqNumEnv} = 4;$$

$$AC = 1014,72 \text{ m}^2;$$

$$AU = 1659,22 \text{ m}^2;$$

$$APT = 493,12 \text{ m}^2;$$

$$ANC = 0;$$

$$\text{EqNumV} = 1;$$

$$\text{EqNumDPI} = 4;$$

$$\text{EqNumCA} = 3;$$

$b = 0$ (devido à ausência de pontuação por bonificações).

Assim sendo, tem-se:

$$PT = 0,30 [(4.0,611) + (0,297.5 + 0.1)] + 0,30 (4) + 0,40 [(3.0,611) + (0,297.5 + 0.1)] + 0$$

E, finalmente:

$$PT = 3,70 \rightarrow \text{Nível B.}$$

Calculada a pontuação total da edificação, resta efetuar a conferência dos pré-requisitos gerais, para saber se haverá alguma penalidade. Para o caso do Ceamazon, tem-se:

- Circuitos elétricos separados por uso final: atendido;
- Aquecimento de água: não há demanda de água quente no edifício e assim, este pré-requisito não é aplicado;
- Isolamento de tubulações: mais uma vez, não há demanda de água quente no edifício e assim, este pré-requisito não é aplicado.

Desta forma, o nível de eficiência energética do Ceamazon, pelo método proposto pelo RTQ-C é nível B.

3.6 - Alterações propostas

De posse do resultado obtido anteriormente e sabendo-se que o objetivo deste trabalho é classificar o edifício do Ceamazon com a melhor nota possível, mais especificamente no nível A de eficiência, algumas soluções foram preparadas para tentar contornar os problemas encontrados.

3.6.1 – Para o Sistema de Iluminação

Como visto anteriormente, o sistema de iluminação alcançou o nível A, sendo penalizado apenas pelo não cumprimento dos pré-requisitos específicos. Assim sendo, visando não apenas um bom resultado na etiquetagem, uma medida de eficiência energética complementar que poderia ser implantada seria o *retrofit* das lâmpadas. Como mencionado na descrição do sistema, há uma predominância de lâmpadas fluorescentes na instalação, visto que à época de projeto as lâmpadas LED (Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz) ainda eram bastante onerosas. Hoje em dia o preço destas já reduziu significativamente, tornando-se uma ótima opção para o mercado, devido à maior durabilidade e eficiência desta tecnologia, como apresentado em estudos comparativos acerca do assunto, como os de Ferreira (2014) e Aquino (2015).

Para o Ceamazon, a substituição de lâmpadas seria realizada de acordo com a tabela 21, que por sua vez, foi baseada na equivalência proposta em Avant (2014):

Tabela 21 – Equivalência fluorescente x LED.

Lâmpada Fluorescente	Lâmpada LED
32 W	16 W
26 W	12 W
20 W	10 W
16 W	8 W

Fonte: o autor.

Após as substituições, o novo valor de potência total de iluminação instalada na edificação seria de 8098 W, uma redução de mais de 10 kW de potência instalada, visto que além das lâmpadas fluorescentes utilizarem uma maior potência, elas também precisam do auxílio de reatores eletrônicos para o seu acionamento. Já as lâmpadas LED são independentes dos reatores e podem ser acopladas nas mesmas luminárias das fluorescentes.

A nova configuração do sistema de iluminação é detalhada na tabela 22:

Tabela 22 – Sistema de iluminação com LEDs.

Pavimento	Ambiente	Nº de luminárias	Nº de lâmpadas por luminária	Potência da lâmpada (W)	Potência da luminária (W)	Potência total instalada (W)
	Auditório	32	2	12	24	768
	Sala de Apoio	1	2	16	32	32
	Cabine de Som	2	2	12	24	48
	Espaço Multiuso	14	2	12	24	336

1º Pav.	Recepção	1	4	8	32	32
	Secretaria	2	4	8	32	64
	Diretoria	2	4	8	32	64
	Cafeteria	4	2	12	24	96
	Copa / Cozinha	1	2	16	32	32
		1	2	8	16	16
	WC Serviço	1	2	8	16	16
	Despensa	1	2	12	24	24
	Hall	16	2	12	24	384
	DML	1	1	10	10	10
	Banheiro PNE	1	1	12	12	12
	Banheiro Masc.	3	1	12	12	36
	Banheiro Fem.	3	1	12	12	36
	Passarela	2	2	12	24	48
	Circulação	6	2	12	24	144
	Biblioteca	20	4	8	32	640
	Lab. Inst. Elétrica	12	4	8	32	384
	Lab. Fís. Químico	9	4	8	32	288
Lab. Sist Motrizes	12	4	8	32	384	
2º Pav.	Escada	2	1	10	10	20
	Sala de Aula 1	8	4	8	32	256
	Sala de Aula 2	8	4	8	32	256
	Hall	15	2	12	24	360
	Sala de Reunião	4	4	8	32	128
	Banheiro PNE	1	1	12	12	12
	Banheiro Masc.	3	1	12	12	36
	Banheiro Fem.	3	1	12	12	36
	Passarela	2	2	12	24	48
	Circulação	6	2	12	24	144
	Lab. Conf. Amb.	12	4	8	32	384
	Lab. Computação	12	4	8	32	384
	Lab. Qual. Energ.	12	4	8	32	384
	Lab. Sist Motrizes	12	4	8	32	384
3º Pav.	Escada	2	1	10	10	20
	Hall	8	2	12	24	192
	Banheiro PNE	1	1	12	12	12
	Banheiro Masc.	3	1	12	12	36
	Banheiro Fem.	3	1	12	12	36
	Passarela	2	2	12	24	48
	Circulação	6	2	12	24	144
	Oficina	3	4	8	32	96
	Sala Professor 1	3	4	8	32	96
	Sala Professor 2	3	4	8	32	96
	Sala Professor 3	3	4	8	32	96
	Sala Professor 4	3	4	8	32	96
	Sala Professor 5	3	4	8	32	96
	Sala Professor 6	3	4	8	32	96
	Lab. Aferição	6	4	8	32	192
Escadas	2	1	10	10	20	

Fonte: o autor.

E desta forma, para o cálculo do novo nível de eficiência, tem-se os resultados apresentados na tabela 23:

Tabela 23 – Área x potência por ambientes (atividades).

Ambiente	Pav .	Área (m ²)	Atividade	Pot. Inst (W)	Pot. Lim Nível A	Pot. Lim Nível B	Pot. Lim Nível C	Pot. Lim Nível D	Classif. Parcial
Auditório	1°	147,14	Auditório	848	1250,69	1500,82	1750,96	2001,10	A
Sala de apoio									
Cab. De som									
Esp. Multiuso	1°	94,78	Hall de ent.	336	758,24	909,88	1061,53	1213,18	A
Despensa	1°	5,09	Depósitos	34	25,45	30,54	35,63	40,72	C
DML									
Hall	1°	236,19	Sala de espera / Convivência	936	1417,14	1700,56	1983,99	2267,42	A
Hall	2°								
Hall	3°								
Cafeteria	1°	20,93	Rest./Café	96	146,51	175,81	205,11	234,41	A
Copa/Cozinha	1°	9,07	Cozinhas	48	97,04	116,45	135,86	155,27	A
WC Serviço	1°	70,08	Banheiros	268	350,4	420,48	490,56	560,64	A
Banh. PNE									
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									
Banh. PNE									
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									
Banh. PNE									
Banh. Masc.									
Banh. Fem.									
Recepção	1°	134,03	Escritório	736	1594,95	1913,94	2232,93	2551,93	A
Secretaria									
Diretoria									
S. de Prof. 1									
S. de Prof. 2									
S. de Prof. 3									
S. de Prof. 4									
S. de Prof. 5									
S. de Prof. 6									
Passarela	1°	186,57	Circulação	576	1324,64	1589,57	1854,50	2119,43	A
Circulação									
Passarela									
Circulação									
Circulação									
Biblioteca	1°	106,23	Bibl. - Leitura	640	1062,30	1274,76	1487,22	1699,68	A
Lab Inst. Elét.	1°	491,32	Laboratórios (Pesquisa)	2880	9580,74	11496,88	13413,03	15329,18	A
Lab Fis-Quim	1°								
Lab Sist Mot	1°								
Lab Sist Mot	2°								
Lab Conf Am	2°								
Lab Comp	2°								
Lab. QDE	2°								
Oficina	3°								
Lab Aferição	3°								
Escada	1°	31,20	Escadas	60	230,88	277,05	323,23	369,40	A
Escada	2°								
Escada	3°								
Sala de Aula1	2°	105,08	Salas de aula - Treinamento	512	1079,16	1286,17	1500,54	1714,90	A
Sala de Aula2									
S. de Reunião	2°	17,11	S. de Reuniões	128	203,60	244,33	285,05	325,77	A
Át iluminada (m²)		1654,8	Pt instalada	8098	19121,74	22937,24	26760,14	30583,03	A

Fonte: o autor.

Nota-se pelos valores encontrados o quanto é vantajoso do ponto de vista da eficiência energética o *retrofit* de sistemas de iluminação, inserindo lâmpadas com maior tecnologia nas instalações, reduzindo significativamente o valor de potência instalada e consequentemente o consumo de energia na instalação.

3.6.2 – Para o Sistema de Condicionamento de Ar

Para solucionar o problema do baixo nível de eficiência deste sistema, primeiramente foi proposta apenas a substituição dos aparelhos menos eficientes, de classe E, por aparelhos mais eficientes, de classe A. Porém, não existem aparelhos etiquetados pelo PROCEL com nível A de potência maior que 36.000 BTUs, sendo que neste valor já se encontra apenas um aparelho e também de eficiência nível E.

Sendo assim, propõe-se um redimensionamento da refrigeração dos ambientes que apresentaram os piores índices, como ilustrado na tabela 24. Para este redimensionamento foram levados em consideração a área do ambiente, a altura do pé direito, a ocupação média e a quantidade de aparelhos presentes no ambiente, através de um método de cálculo usado comumente no meio comercial, para fazer o dimensionamento da refrigeração de um ambiente. Resumidamente, o método consiste em multiplicar 600 Btu para cada m², somar 600 BTU para cada pessoa adicional que vá ocupar a sala (a primeira não é contabilizada) e somar mais 600 BTU para cada equipamento eletrônico presente no ambiente.

Tabela 24 – Redimensionamento dos condicionadores de ar

Ambiente	Potência instalada anterior	Área (m ²)	Ocupação média (pessoas)	Aparelhos eletrônicos	Potência instalada proposta
Auditório	186000	152,09	120	1	163800
Biblioteca	90000	106,23	5	2	67200
Lab. De Análise Físico-Química	58000	52,51	5	5	42000
Lab. Sistemas Motrizes – 1º piso	58000	60,96	5	5	42000
Lab. Conforto Ambiental	58000	59,24	5	5	40800
Lab. Computação	54000	70,21	5	5	47400
Lab. Sistemas Motrizes – 2º piso	35000	60,96	5	5	42000
Total	516000	--	--	--	439800

Fonte: o autor.

Nota-se que à exceção do Laboratório de Análise Físico-Química e do segundo piso do Laboratório de Sistemas Motrizes, todos os outros ambientes listados tiveram o condicionamento de ar super-dimensionado, acarretando em um consumo exagerado de energia. De acordo com a proposta apresentada e com a listagem de aparelhos etiquetados pelo PROCEL, uma solução seria a seguinte:

- Para a Biblioteca: instalação de dois aparelhos marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h, suprimindo 60.000 Btu dos 67.200 calculados;
- Para o Laboratório de Análise Físico-Química: um aparelho marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h e um aparelho marca Electrolux, modelo PI07F/PE07F, classificação A, de 7.000 Btu/h, suprimindo 37.000 Btu dos 36.600 calculados;
- Para o Laboratório de Sistemas Motrizes – 1º piso: um aparelho marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h e um aparelho marca Pioneer, modelo KF-35G/B PN KF-35W/B PN, classificação A, de 12.000 Btu/h, suprimindo 42.000 Btu dos 42.000 calculados;
- Para o Laboratório de Conforto Ambiental: um aparelho marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h e um aparelho marca Unifrio, modelo UNI09INT/UNI09EXT, classificação A, de 9.000 Btu/h, suprimindo 39.000 Btu dos 40.800 calculados;
- Para o Laboratório de Computação: um aparelho marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h e um aparelho marca Fujitsu, modelo ASBG15LJCA/AOBG15LJC, classificação A, de 15.000 Btu/h, suprimindo 45.000 Btu, dos 47.400 calculados;
- Para o Laboratório de Sistemas Motrizes – 2º piso: um aparelho marca Electrolux, modelo TI30F/TE30F, classificação A, de 30.000 Btu/h, e um aparelho marca Pioneer, modelo KF-35G/B PN KF-35W/B PN, classificação A, de 12.000 Btu/h, suprimindo 42.000 Btu dos 42.000 calculados.

Já para o auditório serão necessários estudos mais aprofundados, devido à sua área maior em relação aos outros ambientes. Para suprir os 163.800 Btus calculados com condicionadores de ar do tipo Split Hi-wall, a melhor solução seria a instalação de 5 aparelhos de 30.000 Btu e um de 12.000 Btu, o que é de certa forma inviável visto que só existem instalações para 4 aparelhos no ambiente. Acredita-se que a opção mais válida seja a instalação de um sistema central de condicionamento de ar ou da instalação de apenas 4 unidades de 30.000 Btus, visto que a sensação térmica das pessoas dentro do ambiente do auditório é geralmente de frio.

Desta forma, a nova disposição do sistema de condicionamento de ar está descrita na tabela 25:

Tabela 25 – Determinação do novo EqNumCA

Ambiente	Classificação	EqNumCA	Potência Total do Ambiente	Coefficiente ponderado	EqNumCA ponderado
Auditório	A	5	120000	0,167	0,835
Recepção	A	5	9000	0,012	0,062
Secretaria	A	5	18000	0,025	0,125
Diretoria	A	5	18000	0,025	0,125
Biblioteca	A	5	60000	0,083	0,417
Lab. Inst. Elétricas	B	4	48000	0,066	0,267

Lab. Análise Físico-Química	A	5	37000	0,051	0,257
Lab. Sistemas Motrizes 1º pav.	A	5	42000	0,058	0,292
Lab. Conforto Ambiental	A	5	39000	0,054	0,271
Lab. Computação	A	5	45000	0,062	0,313
Lab. Qualidade de Energia	B	4	48000	0,066	0,267
Lab. Sistemas Motrizes 2º pav.	A	5	42000	0,058	0,292
Sala de reunião	B	4	18000	0,025	0,100
Sala de aula 1	B	4	36000	0,050	0,200
Sala de aula 2	B	4	36000	0,050	0,200
Lab. De Aferição	B	4	24000	0,033	0,133
Sala de Professores 1	A	5	13000	0,018	0,090
Sala de Professores 2	A	5	13000	0,018	0,090
Sala de Professores 3	A	5	13000	0,018	0,090
Sala de Professores 4	A	5	13000	0,018	0,090
Sala de Professores 5	A	5	13000	0,018	0,090
Sala de Professores 6	A	5	13000	0,018	0,090
Total	(--)	(--)	718000	0,993	4,696

Fonte: o autor.

Adotando as medidas propostas e considerando 4 aparelhos de 30.000 Btus para o auditório, o sistema de condicionamento de ar já recebe nota A, com EqNumCA = 4,69.

3.6.3 – Pontuação total revisada

Para se alcançar o nível A, sabendo que as classificações B da envoltória e do sistema de iluminação foram devido ao não atendimento de pré-requisitos que necessitariam de obras na infra-estrutura do prédio, voltou-se os estudos para o sistema de condicionamento de ar. Neste, verificou-se que apenas o avanço do sistema do nível C para o nível A (EqNumCA = 5) não seria suficiente para levar a edificação ao nível geral A, visto que neste caso, PT = 4,22, ainda nível B.

Supondo outros possíveis resultados, obtém-se os seguintes valores para PT:

- Com EqNumEnv = 5 (hipotético); EqNumDPI = 4 (mantido) e EqNumCA = 5 (mantido):
PT = 4,43 → Nível B.
- Com EqNumEnv = 4 (mantido); EqNumDPI = 5 (hipotético) e EqNumCA = 5 (mantido):
PT = 4,52 → Nível A.
- Com EqNumEnv = 5 (hipotético); EqNumDPI = 5 (hipotético) e EqNumCA = 5 (mantido):

PT = 4,73 → Nível A.

Assim sendo, para se alcançar o nível A duas soluções são propostas:

- Se o sistema de iluminação atendesse aos pré-requisitos e mantivesse o seu nível A, com EqNumDPI = 5, a edificação conseguiria alcançar o nível A, com PT = 4,52. Para isso, bastaria um simples reordenamento da fiação de acionamento das luminárias, de modo que as luminárias mais próximas às janelas possuíssem o acionamento independente obrigatório ao regulamento;
- É possível obter pontos de bonificação de variadas formas no Ceamazon. Foi prevista em projeto a implantação de um sistema de reaproveitamento da água originada das chuvas, porém a execução da obra de encanamento foi feita de forma incorreta. Todas as torneiras da edificação possuem temporizadores, restando efetuar a análise de quanto este sistema produz de economia no gasto anual de água do edifício. Para valer pontos de bonificação, é necessário que se comprove 40% de economias anuais. Além disso, as salas e laboratórios de pesquisa do Ceamazon fazem um bom proveito da iluminação natural, permanecendo boa parte do dia com as luzes apagadas, como mostram as figuras 21, 22 e 23. Como exposto anteriormente, para se obter a pontuação proveniente desta iniciativa, bastaria a comprovação da economia mínima de 30% no consumo anual de energia. Finalmente, um projeto para a implantação de painéis fotovoltaicos para utilização de energia solar no edifício já foi efetuado, por Watanabe (2015), bastando que se comprove que esta medida trará uma economia mínima de 10% ao ano no consumo de energia do edifício.

Figura 21 – Iluminação natural da sala de aula 1 do Ceamazon.



Fonte: o autor.

Figura 22 – Iluminação natural no laboratório de Qualidade da Energia do Ceamazon.



Fonte: o autor.

Figura 23 – Iluminação natural no laboratório de Qualidade da Energia do Ceamazon.



Fonte: o autor.

Desta forma, conclui-se que para se adequar às diretrizes necessárias ao nível A do RTQ-C, e conseqüentemente ser um modelo de eficiência energética para outros edifícios, a solução mais simples e menos custosa para o edifício do Ceamazon é o reordenamento da fiação dos circuitos de iluminação, para que se atenda ao pré-requisito da independência no acionamento das luminárias mais próximas à iluminação natural. Esta medida, isoladamente, já seria o suficiente para enquadrar a edificação no nível A.

As possíveis bonificações discutidas anteriormente, como o aproveitamento racional da água e um possível sistema de geração de energia fotovoltaica, também são importantes no contexto de tornar o edifício do Ceamazon um exemplo de eficiência energética não só na região, mas como também no Brasil.

Para corroborar os ganhos resultados da implantação das propostas feitas nesta dissertação, simulações de análise de viabilidade econômica e simulações termoenergéticas foram realizadas, e serão apresentadas no próximo capítulo.

Capítulo 4 – Simulações de Viabilidade Econômica e Simulações Energéticas das Alterações Propostas

Para se verificar a viabilidade das alterações propostas, foram efetuados dois tipos diferentes de simulação, a primeira, utilizando o *software RetScreen*, teve como objetivo analisar o custo de implantação do *retrofit* proposto e o tempo de retorno deste custo. Já a segunda simulação objetivou a verificação da real diminuição do consumo de energia da edificação ao se introduzir a iluminação por LED. Para esta simulação o *software* utilizado foi o *EnergyPlus*.

4.1 – Simulação de viabilidade econômica via *RetScreen*

Após a aplicação do método prescritivo do RTQ-C para análise da eficiência energética do prédio do Ceamazon, foram levantados dados para uma análise financeira de algumas das propostas feitas neste trabalho, em específico, o *retrofit* das lâmpadas fluorescentes, sendo substituídas por modelos equivalentes de LED e a substituição dos aparelhos condicionadores de ar por modelos mais eficientes.

Esta análise foi realizada com o *software RetScreen*, *software* de origem canadense, baseado em Excel e sem custos para o download e uso. O *software* tem como uma de suas muitas utilidades a análise da viabilidade técnica e financeira de projetos de eficiência energética, energia renovável e cogeração de energia, o que o transformou em uma ferramenta de alta disseminação tanto no meio comercial quanto no meio acadêmico, sendo o objeto de trabalho de variados artigos, teses e dissertações.

4.1.1 – Levantamento dos dados iniciais para a simulação de viabilidade econômica

Através da inserção de dados como tipo e preço do combustível, localização do projeto e variáveis financeiras por exemplo, o *software* retorna, dentre outros resultados possíveis, o tempo de retorno do investimento no projeto.

Para o caso do prédio do Ceamazon, foram levantados os seguintes dados:

- Preço do combustível (eletricidade): R\$ 0,52, referente à tarifa da concessionária de energia do Pará, a Celpa;
- Custo da substituição das lâmpadas: R\$ 19512,00, baseado em pesquisa, via *internet*, do custo para compra dos modelos de lâmpadas sugeridos, não sendo contabilizados custos de instalação;
- Custo da substituição dos aparelhos condicionadores de ar: R\$ 53112,00, baseado em pesquisa, via *internet*, do custo para compra dos modelos de condicionadores de ar sugeridos, não sendo contabilizados custos de instalação;
- Reajuste do custo do combustível (eletricidade): 35%, referente ao reajuste acumulado no ano de 2015 no estado do Pará;
- Taxa de inflação: 9,9%, referente ao valor de outubro de 2015;

4.1.2 – Inserção dos dados referentes ao Sistema de iluminação

De posse dos dados apresentados anteriormente, a simulação tem início com a inserção de dados básicos do projeto, como por exemplo o tipo de projeto (“Ações de eficiência energética”), o tipo da instalação (onde, por ser um laboratório de uma universidade foi escolhido “Institucional”) e o local da instalação, para que o software carregue os dados climáticos do seu banco de dados.

O próximo passo é preencher a planilha do modelo energético do projeto. Nela é que entram os dados referentes ao tipo e custo do combustível que será usado e todos os dados característicos da instalação.

Neste passo, primeiramente foram inseridos os dados acerca do sistema de iluminação, através da guia “Lâmpadas”, como mostrado na figura 24. Vale ressaltar que os valores de “Carga de iluminação por unidade de área” nada mais são que a potência instalada total de iluminação para cada caso dividida pela área total iluminada. Além disso, preenche-se o valor da área do piso, onde foi utilizada a área iluminada, as horas de operação, onde definiu-se 12 horas (de 8:00 da manhã até as 20:00 da noite) e o custo inicial da implantação das melhorias. Vale ressaltar que não foram computados os valores referentes a operação e manutenção do sistema (O&M).

Figura 24 – Modelo energético do RetScreen - Iluminação

		Caso de referência	Caso proposto	
Área do piso	m ²	1.654,82		
Carga de Iluminação por unidade de área	W/m ²	11,09	4,9	
Horas de operação	h/d	12	12	
Custo inicial incremental	BRL		19.512,02	
Economia de O&M incremental	BRL			
Número de unidades		1	1	
Demanda de eletricidade	MWh	80	36	55,8%
Impacto climatização ambiental				
<input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não				
Impacto aquecimento ambiental				
<input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não				

Fonte: o autor.

4.1.3 - Inserção dos dados referentes ao Sistema de condicionamento de ar

Em seguida efetuou-se o preenchimento da guia “Equipamento elétrico”, para a caracterização do sistema de condicionamento de ar. Optou-se por esta guia ao invés de

“Sistema de refrigeração” para que se pudesse fornecer um maior detalhamento da potência dos aparelhos, visando resultados mais específicos. As figuras 25 e 26 ilustram o preenchimento das informações inerentes ao caso analisado. As horas de operação foram padronizadas por um valor de 10 horas por dia e a carga elétrica, anteriormente apresentada em BTUs, foi transformada para kiloWatts (kW).

Figura 25 - Modelo energético do RetScreen – Condicionamento de ar – parte 1

RETScreen

Equipamento elétrico: 1 2 3 4 5

Descrição:

Descrição	Caso de referência				Caso proposto				Custo inicial incremental BRL
	Quantidade	Horas de operação h/d	Carga elétrica kW	Fator de utilização %	Quantidade	Horas de operação h/d	Carga elétrica kW	Fator de utilização %	
Auditório	4	10	13,62	25	4	10	8,79	25	4.199
Recepção	1	10	2,63	100	1	10	2,63	100	0
Secretaria	1	10	5,27	100	1	10	5,27	100	0
Diretoria	1	10	5,27	100	1	10	5,27	100	0
Biblioteca	3	10	8,79	33	2	10	8,79	50	4.199
Lab Instalações Elétricas	2	10	7,03	50	2	10	7,03	50	0
Lab Análise Físico-Química	1	10	10,25	100	2	10	5,42	50	2.623
Lab Sistemas Motrizes (Térreo)	1	10	16,99	100	2	10	9,52	50	2.713
Lab Conforto Ambiental	1	10	16,99	100	2	10	5,71	50	2.613
Lab Computação	2	10	7,91	50	2	10	6,59	50	3.297
Lab Qualidade de Energia	2	10	7,03	50	2	10	7,03	50	0
Total									47.686

Impacto climatização ambiental: Sim Não

Impacto aquecimento ambiental: Sim Não

Custo inicial incremental: BRL 47.686

Economia de O&M incremental: BRL

Demanda de eletricidade: MWh 371 (Caso de referência), 263 (Caso proposto), 29,1%

Fonte: o autor.

Figura 26 - Modelo energético do RetScreen – Condicionamento de ar – parte 2

RETScreen

Equipamento elétrico: 1 2 3 4 5

Descrição:

Descrição	Caso de referência				Caso proposto				Custo inicial incremental BRL
	Quantidade	Horas de operação h/d	Carga elétrica kW	Fator de utilização %	Quantidade	Horas de operação h/d	Carga elétrica kW	Fator de utilização %	
Lab Sistemas Motrizes (1º pav)	1	10	10,25	100	2	10	6,15	50	2.713
Sala de Reunião	1	10	5,27	100	1	10	5,27	100	0
Sala de Aula A	2	10	5,27	50	2	10	5,27	50	0
Sala de Aula B	2	10	5,27	50	2	10	5,27	50	0
Lab de Aferição	1	10	7,03	100	1	10	7,03	100	0
Sala dos Professores 1	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Sala dos Professores 2	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Sala dos Professores 3	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Sala dos Professores 4	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Sala dos Professores 5	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Sala dos Professores 6	1	10	3,8	100	1	10	3,8	100	0
Total									5.426

Impacto climatização ambiental: Sim Não

Impacto aquecimento ambiental: Sim Não

Custo inicial incremental: BRL 5.426

Economia de O&M incremental: BRL

Demanda de eletricidade: MWh 204 (Caso de referência), 189 (Caso proposto), 7,3%

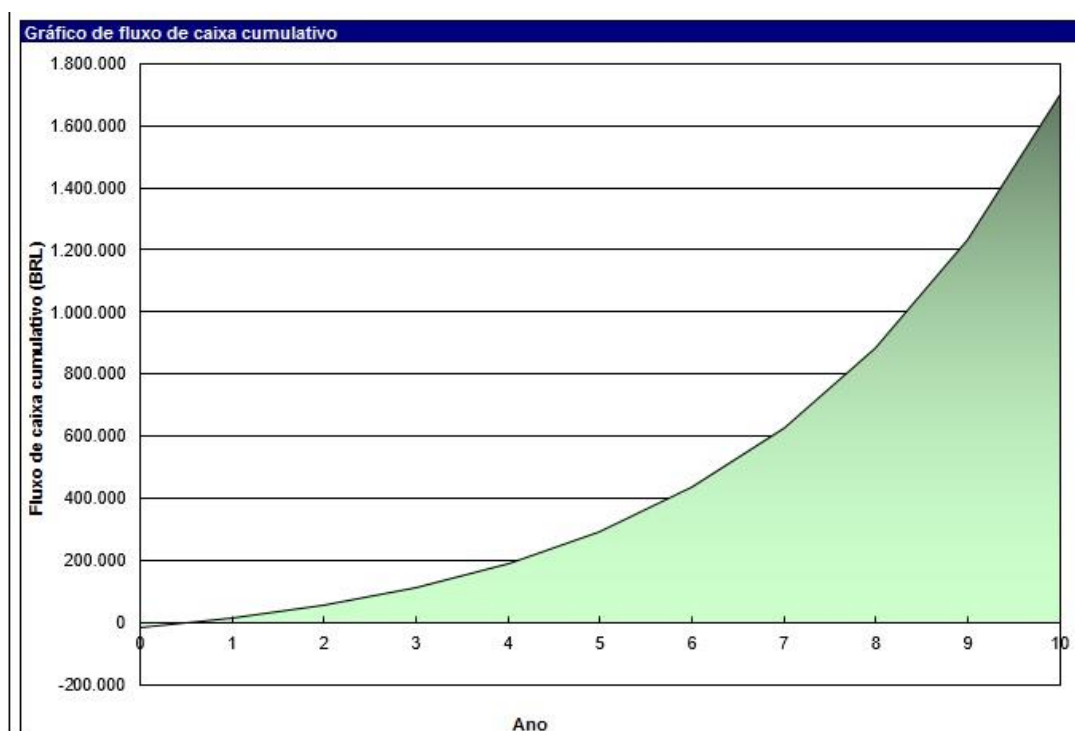
Fonte: o autor.

Inseridos todos os dados citados anteriormente, o *software* já é capaz de realizar uma análise financeira do projeto, retornando ao usuário o tempo de retorno simples e os valores do fluxo de caixa cumulativo.

4.1.4 – Resultados das simulações de viabilidade econômica

Para efeito de comparação, foram realizadas três simulações distintas. A primeira, levando em conta apenas o projeto de *retrofit* do sistema de iluminação teve como período para retorno do investimento um total de 8 meses, como ilustrado na figura 27:

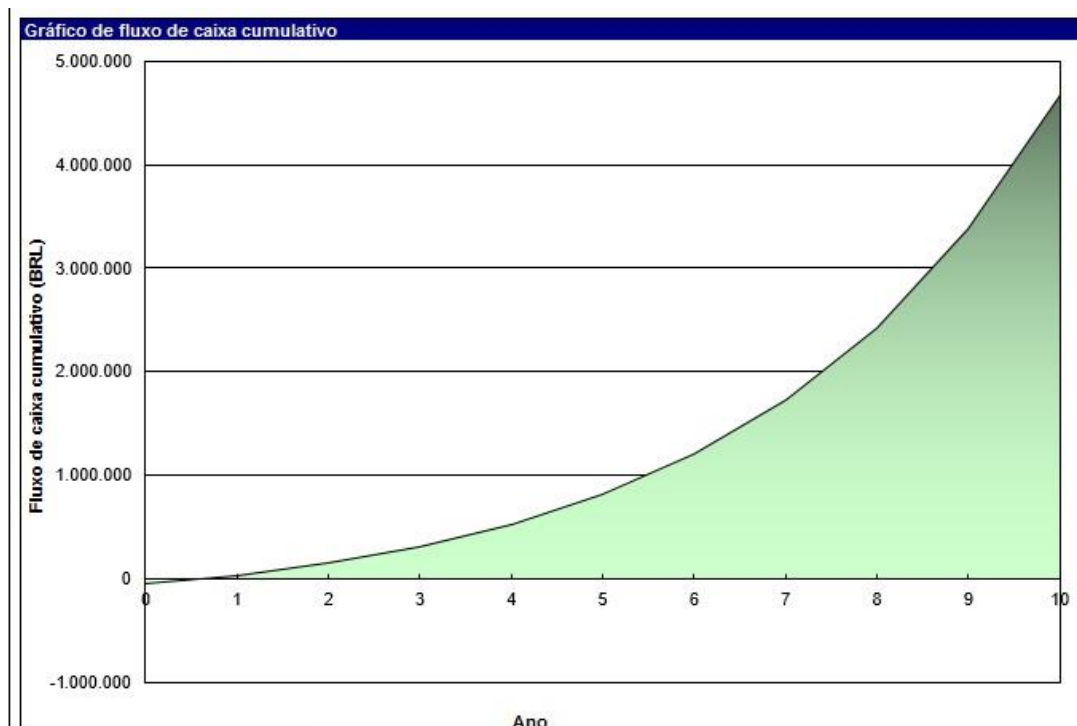
Figura 27 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – *Retrofit* do sistema de iluminação.



Fonte: o autor.

Em seguida, uma segunda simulação foi realizada, desta vez isolando as ações propostas para o Sistema de condicionamento de ar, no que foi obtido um tempo de retorno de 7,5 meses, como mostra a figura 28:

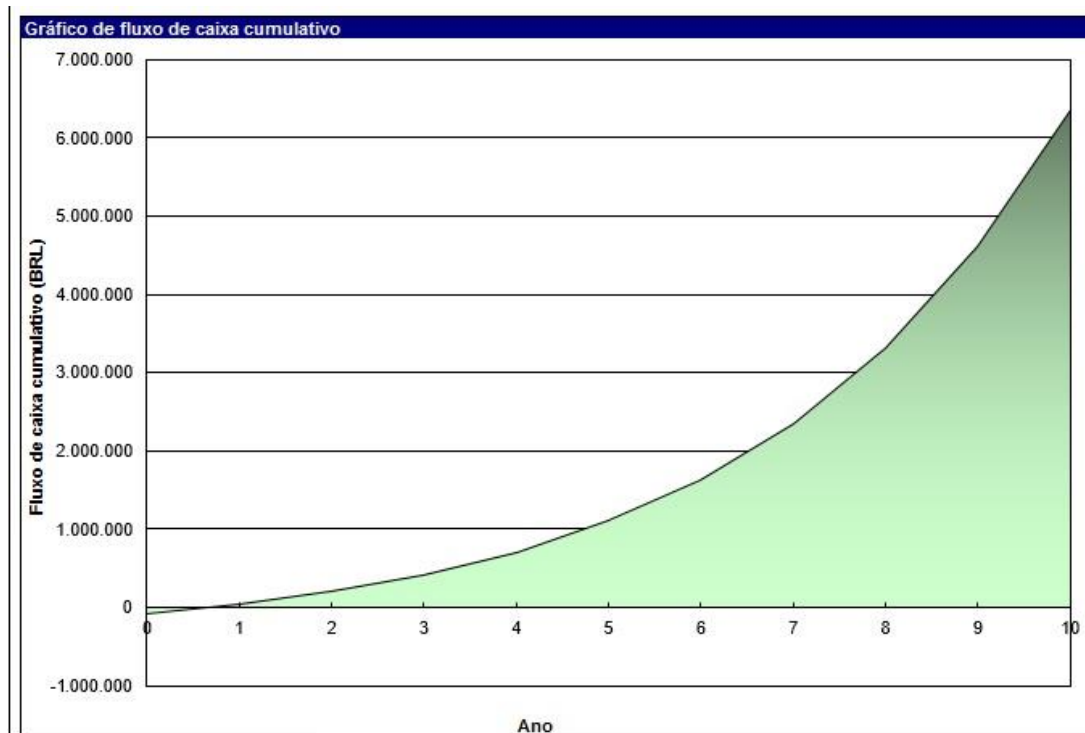
Figura 28 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – *Retrofit* do sistema de condicionamento de ar.



Fonte: o autor.

Finalmente, combinando as ações propostas para a iluminação e para o condicionamento de ar, o retorno simples dos investimentos foi calculado em aproximadamente 7,5 meses também, resultando no gráfico da figura 29:

Figura 29 – Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – Ações combinadas.



Fonte: o autor.

O *RetScreen* também fornece um relatório mais detalhado do fluxo de caixa. Neste caso, para um horizonte de 10 anos, a economia gerada pela implementação das medidas de eficiência energética propostas chegaria a um total de R\$ 6.366.459,00

Outro resultado interessante que o *software* fornece ao usuário é o valor total da redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE), fazendo comparativos em relação à carros não utilizados, toneladas de lixo recicladas, pessoas reduzindo seu consumo de energia, dentre outros.

O total de redução de emissões das ações discutidas neste trabalho, chegou a um valor de 14,6 toneladas de CO₂ anualmente, o que é comparável à 6273 litros de gasolina não consumidos, como ilustrado pela figura 30:

Figura 30 – Análise da redução de emissões do *RetScreen*.

Sumário da redução de emissões dos GEE						
Projeto de ações de eficiência energética	Emissões GEE Caso de referência tCO ₂	Emissões de GEE Caso Proposto tCO ₂		Redução anual bruta de emissões de GEE tCO ₂	Custo de transação dos créditos de GEE %	Redução anual líquida de emissões de GEE tCO ₂
	56,9	42,3		14,6		14,6
Redução anual líquida de emissões de GEE	14,6	tCO ₂	é equivalente a	6.273	Litros gasolina não consumidos	

Fonte: o autor.

4.2 – Simulação energética via *DesignBuilder / Energy Plus*

4.2.1 – Modelagem do ambiente

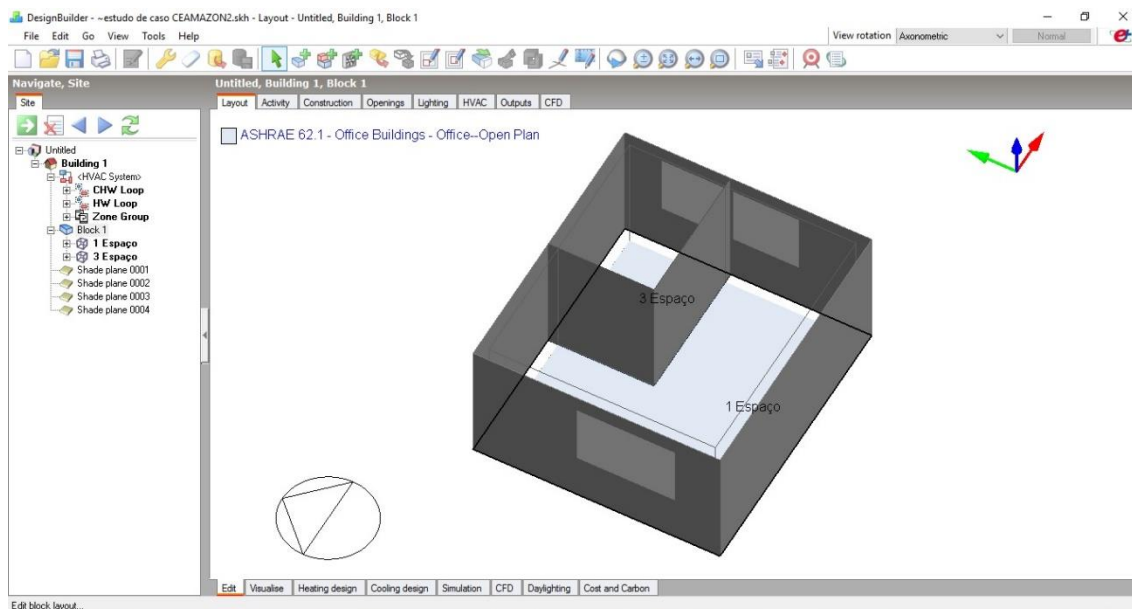
No intuito de comprovar que o *retrofit* proposto para o sistema de iluminação traria bons resultados no que diz respeito à redução no consumo de energia, decidiu-se realizar uma simulação energética de um dos ambientes do Ceamazon, agindo como modelo-base para todos os outros ambientes. O ambiente escolhido foi o segundo pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes. De posse das características construtivas e das especificidades do sistema de iluminação, o ambiente foi modelado através do *software Revit*, da Autodesk.

Já para a simulação energética em si, o *software* escolhido foi o *Energy Plus*, *software* para simulação termo-energética, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, tendo sido lançado em 2001. Permite desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética em edificações existentes ou em fase de projeto, possuindo capacidade para simular a integração de vários módulos (fotovoltaico, aquecimento solar, ventilação natural, iluminação natural) que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício, usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. É um *software* já consolidado, e com grande aceitação, sendo usado em muitas pesquisas realizadas no país para simulação de desempenho termo-energético de edificações. Funciona também como um *plugin* para simulação, desenvolvido para funcionar associado a outros programas que possuem uma interface para a modelagem geométrica da edificação, a exemplo do *DesignBuilder* (Zemero, 2016). Através deste

último, associado ao motor de simulações do *Energy Plus*, foram obtidos os resultados em formas de gráfico das simulações energéticas efetuadas neste trabalho.

Desta forma, a modelagem da sala foi efetuada separando a mesma em dois ambientes, como ilustra a figura 31:

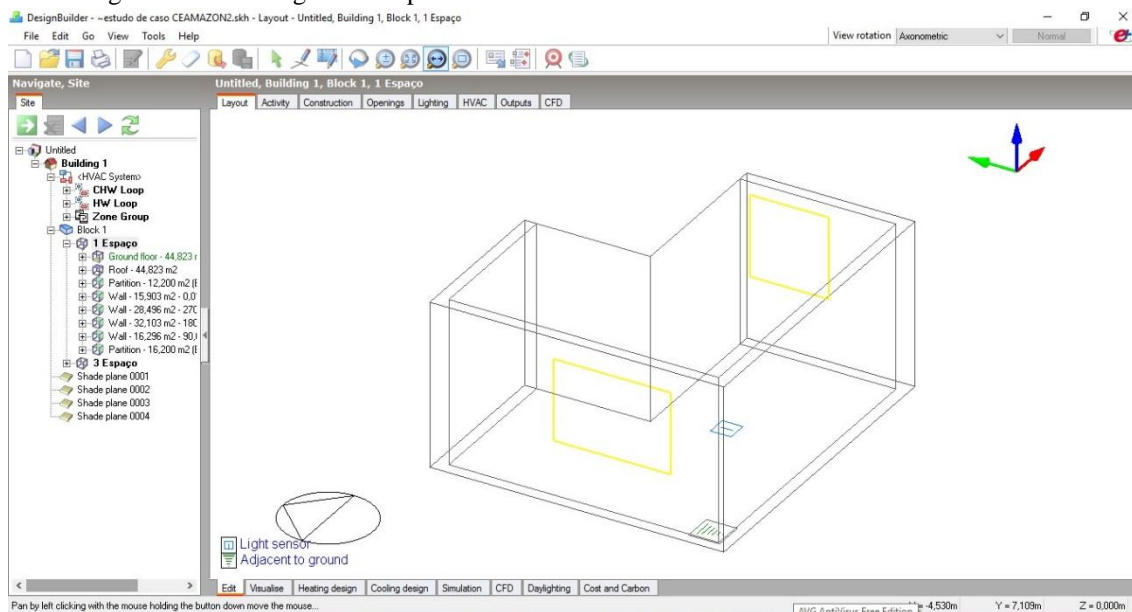
Figura 31 – Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes



Fonte: o autor

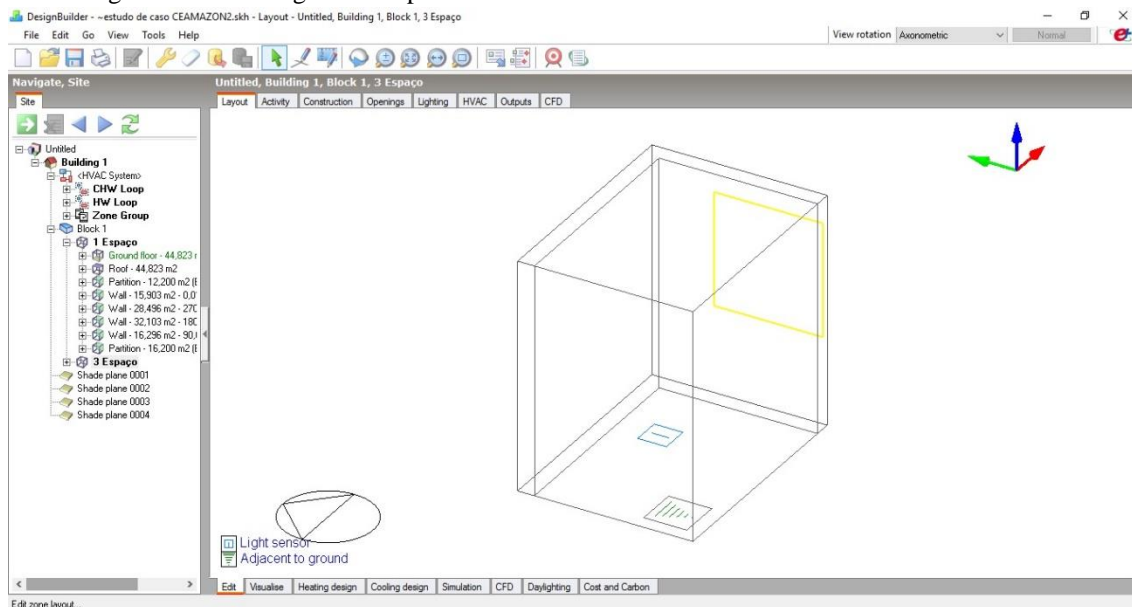
E, detalhadamente, os dois espaços foram dispostos como mostram as figuras 32 e 33:

Figura 32 - Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – ambiente 1



Fonte: o autor

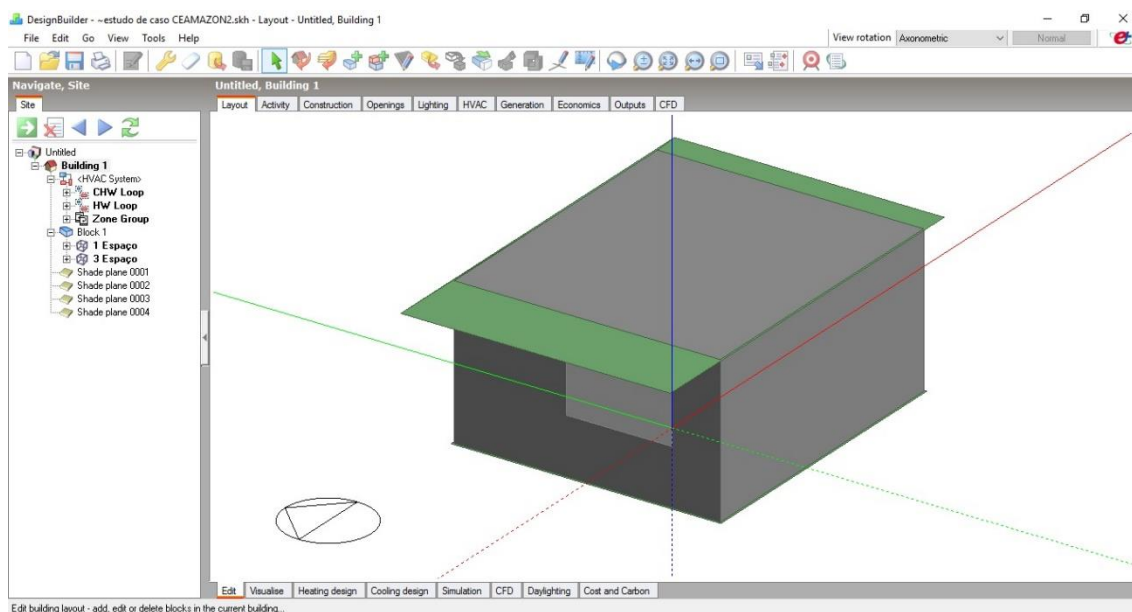
Figura 33 - Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – ambiente 2



Fonte: o autor

Além disso, para a correta simulação da influência da luz natural no ambiente, projetou-se a sala de acordo com as suas características reais, que oferecem um sombreamento nas fachadas, como ilustrado na figura 34:

Figura 34 - Modelagem do 2º pavimento do Laboratório de Sistemas Motrizes – sombreamentos

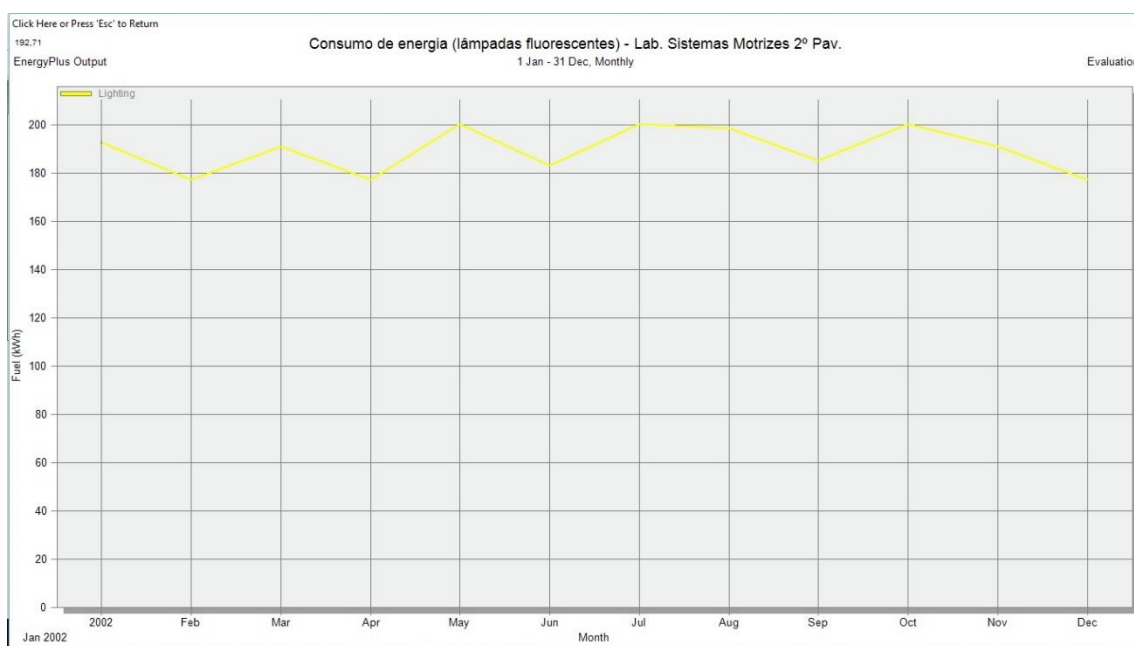


Fonte: o autor.

4.2.2 – Simulações energéticas

Com a modelagem do ambiente pronta, em um primeiro momento efetuou-se a simulação da iluminação do ambiente com lâmpadas fluorescentes, levando em consideração o consumo de todos os dias do ano, de 1º de janeiro a 31 de dezembro, gerando o gráfico presente na figura 35, que mostra o consumo mensal de energia do sistema de iluminação.

Figura 35 – Consumo mensal de energia do sistema de iluminação ao longo de um ano – Iluminação com lâmpadas fluorescentes.

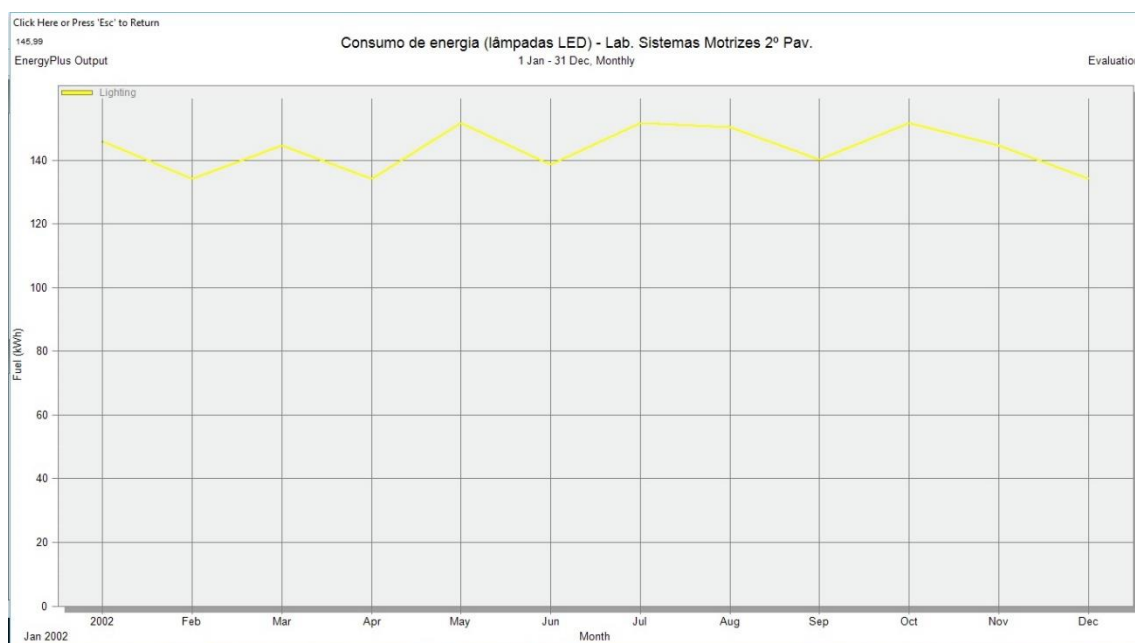


Fonte: o autor.

Configurado desta forma, o programa calculou um consumo de energia anual para a iluminação com lâmpadas fluorescentes de 2273,93 kWh.

Comparativamente, para o mesmo ambiente, e com os mesmos dados base, mas com o sistema de iluminação com lâmpadas LED, a simulação retornou o gráfico da figura 36:

Figura 36 - Consumo diário de energia do sistema de iluminação ao longo de um ano – Iluminação com lâmpadas LED.



Fonte: o autor.

E, finalmente, neste caso o consumo anual do sistema de iluminação, calculado pelo programa, foi de 1722,68 kWh, representando uma diferença de 551,25 kWh que deixaram de ser consumidos em apenas um ambiente.

Das simulações acima conclui-se que as medidas de eficiência energética propostas trazem uma redução no consumo energético da edificação, reduzindo consequentemente os gastos reais faturados e as emissões de gases nocivos ao meio ambiente.

Capítulo 5 – Conclusões

5.1 – Considerações finais

Neste trabalho foi analisado e aplicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas, RTQ-C, principal regulamento em vigor no Brasil no que se refere a eficiência energética de edificações.

Após o estudo do regulamento em si, foi efetuada uma aplicação do mesmo em um prédio da Universidade Federal do Pará, o Ceamazon, um dos muitos laboratórios de pesquisa vinculados à esta Universidade. Em um primeiro momento, aplicando os métodos de cálculo para determinação dos níveis de eficiência de envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, o resultado obtido não foi muito satisfatório, classificando o Ceamazon apenas como nível B de eficiência, quando o objetivo principal do trabalho era obter a certificação máxima, nível A.

Para se atingir tal objetivo, foram propostas mudanças ao sistema de iluminação e ao sistema de condicionamento de ar. Em resumo, foi proposto o *retrofit* de ambos os sistemas: na iluminação, através da substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, responsáveis por uma diminuição significativa na potência instalada na edificação, e no sistema de condicionamento de ar, substituindo os aparelhos de menor eficiência por aparelhos de nível A.

Mesmo com as alterações propostas, não se alcançou o nível A, ficando para sugestão a revisão dos pré-requisitos que devem ser atendidos, de forma a não haver penalidades no cálculo da eficiência da edificação, o que foi um dos problemas encontrados durante o desenvolvimento desta dissertação. Efetuadas as alterações propostas, o edifício do Ceamazon já se enquadrou no nível A de eficiência, porém o não cumprimento de um dos pré-requisitos, no caso, do sistema de iluminação, foi o suficiente para rebaixar a edificação ao nível B, sendo que a única solução para este problema seria através de obras no edifício para a adequação conforme o regulamento.

Por fim, foram efetuadas simulações, tanto de caráter econômico como energético, utilizando diferentes *softwares* disponíveis no mercado, onde verificou-se que o tempo de retorno do custo de implantação das melhorias nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar seria de apenas 8 meses, o que é muito vantajoso e, também, confirmou-se a vantagem da utilização das lâmpadas LED em relação às lâmpadas fluorescentes no que se refere ao consumo mais baixo de energia, e, conseqüentemente, em custos mais baixos de manutenção.

Destas simulações concluiu-se que mesmo sem a obtenção do nível A através do regulamento em vigor no Brasil, as medidas de *retrofit* propostas já trazem ganhos significativos ao edifício do Ceamazon, reduzindo bastante a potência instalada de iluminação e condicionadores de ar.

No geral, o trabalho serviu como meio de forte aproximação ao tema da eficiência energética predial, através das pesquisas e análises efetuadas. Em relação à

regulamentação brasileira, os passos ainda estão lentos. Os programas de etiquetagem já possuem um bom tempo, mas a etiquetagem predial só tornou-se obrigatória em 2014, e só para prédios públicos. Outro problema que se soma à este, é que o RTQ-C não prevê nenhuma forma de reavaliação das edificações, o que deveria ser feito para que os conceitos definidos em projeto mantenham-se durante toda a vida útil da edificação.

5.2 – Trabalhos futuros

Após a conclusão deste trabalho, permanece a impressão de que ainda há muito a se fazer. Como possíveis sugestões para trabalhos futuros, tem-se:

- A simulação energética da edificação como um todo;
- A implantação das melhorias propostas;
- A verificação, através de medições dos ganhos reais obtidos após as alterações propostas;
- A verificação de possíveis alterações na qualidade da energia decorrentes do uso de lâmpadas LED.

Referências Bibliográficas

AMORIM, C. N. D.; CINTRA, M. S.; SILVA, C. F.; FERNANDES, J. T.; SUDBRACK, L. O. – Energy efficiency code in Brazil: experiences in the first public building labeled in Brasilia – Fourth National Conference of IBPSA, Nova Iorque - NY, 2010.

AVANT, Catálogo comparativo de lâmpadas LED, 2014.

AQUINO, S. C.; SANTOS, T. C.; TOSTES, M. E. L.; MORAES, H. B. – Proposta de ação em eficiência energética com o uso de lâmpadas de LED no navio patrulha Guarujá P49 – XXXIV International Sodebras Congress, 2015

BATISTA, N. N.; ROVERE, E. L.; AGUIAR, J. C. R. – Energy efficiency labeling of buildings: an assessment of the brazilian case – Energy and Buildings, 2010, Elsevier.

BOUTS, D. D.; SANTO, G. C.; SANTOS, M. A.; SANTOS, M. J.; FARIAS, W. M. – Potencial de economia de energia pela adoção da lâmpada LED na iluminação residencial, subsidiando a concessão do selo Procel de economia de energia para lâmpadas LED – XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu – PR, 2015.

BRASIL, Decreto Nº 4059, de 19/12/2001 – Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.

BRASIL, Lei Nº 9991, de 24/07/2000 – Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências.

BRASIL, Lei Nº 102925, de 17/10/2001 – Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. – Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética em edifícios, parte 1: método prescritivo – Ambiente Construído, páginas 7 a 26, Porto Alegre, 2010.

FERREIRA, J. Z. – Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e tubulares de LED – Monografia de especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

FILHO, A. S.; CARVALHO, C. C. M. M.; FONSECA, L. P.; MANITO, A. R. A.; MAIA, A. A.; MACENA, F. R.; TOSTES, M. E. L.; MATOS, E. O.; BEZERRA, U. H.; CHAAR, V. L. – Avaliação da eficiência energética em edificações de um campus universitário de acordo com o processo analítico do RTQ-C – XI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Campina Grande – PB, 2015.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. – Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C – Ambiente Construído, Volume 10, Nº 2, páginas 59 a 69, Porto Alegre, 2010.

INMETRO – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C) – Publicado através da portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010.

INMETRO - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R) – Publicado através da portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012.

INMETRO - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética em Edificações (RAC) – Publicada através da portaria nº 50 de 01 de fevereiro de 2013.

INMETRO – Tabela de edificações comerciais, de serviço e públicas – disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>

MELLO, E. N.; KRAUSE, J.Q.; MOREIRA, M. A. R. G.; PERRONE, F. P. D. – Estudo do impacto do PBE Edifica para a economia de energia em edificações - XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu – PR, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - Plano Nacional de Eficiência Energética – 2010.

OLIVEIRA, B. G. F. – Análise do desempenho energético de edificações: aplicação analítica do RTQ-C no edifício do Ceamazon – Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, 2013.

OLIVEIRA, R. C. – Metodologia de análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética com aplicação no aproveitamento da biomassa residual do dendê na Amazônia – Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará, 2015.

PBE EDIFICA – Manual para Aplicação do RAC - Versão 1, 2014.

PBE EDIFICA – Manual para Aplicação do RTQ-C – Versão 3, 2015.

PBE EDIFICA – Manual para Aplicação do RTQ-R – Volume 4, 2014.

PBE EDIFICA – www.pbeedifica.com.br

PROCEL INFO – www.procelinfo.com.br

ROSA, L. L.; CUNHA, M. S.; ARAUJO, M. G.; VALLE, A. C.; MATIAS, L.; MARQUES, T. C. – Uma análise técnica da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED – Revista Sodebras, Volume 10, Nº 113, 2015.

SANTOS, I. G. – Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares – Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

SCHEIDEGGER, W. M.; MESTRIA, M. – Viabilidade econômica da substituição de iluminação fluorescente por LED (diodo emissor de luz) em uma residência - XI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Campina Grande – PB, 2015.

SOUZA, R. V. G.; VELOSO, A. C. O.; LEITE, P. R.; SOARES, C. P. S. – Experiência de aplicação do RTQ-C no Labcon, UFMG – XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela -RS, 2010.

TAVARES, L. R. – Eficiência energética em edificações: aplicação do RTQ-C, Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos, na cidade de Uberlândia, MG – Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2011.

WATANABE, S. C. – Anteprojeto de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica para o Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia – Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, 2015.

ZEMERO, B. R. – Análise da aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil – Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, 2016.

ANEXO A

Neste anexo serão apresentados com mais detalhes os estudos efetuados por Oliveira (2013) da envoltória do Ceamazon.

A.1 - Fator de Altura (FA):

O fator de altura é compreendido pela razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída, excluindo os subsolos. Extraindo as referidas áreas do Ceamazon, tem-se:

$$FA = A_{pcob} \div A_{total}$$

$$FA = 674,43 \div 1907,98$$

$$FA = 0,35$$

A.2 - Fator de Forma (FF):

O Fator de Forma é um índice representativo das proporções do edifício e corresponde a razão entre a área total da envoltória ($A_{env} = 2462,59 \text{ m}^2$) e o volume total da edificação ($V_{tot} = 6751,18 \text{ m}^3$).

$$FF = A_{env} \div V_{total}$$

$$FF = 2.462,59 \div 6.751,18$$

$$FF = 0,36$$

A.3 - Percentual de área de abertura na fachada total (PAFT):

Este percentual é um índice representativo do tamanho das aberturas, ou seja, é uma forma de transformar em números o conceito qualitativo de abertura, para que o mesmo possa ser usado na equação do Indicador de Consumo.

O PAFT é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou de qualquer outro fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação, conforme a equação abaixo:

$$PAFT = \text{Área de abertura envidraçada vertical} \div A_{env}$$

$$PAFT = 195,42 \div 2.462,59$$

$$PAFT = 0,079$$

A.4 - Fator Solar (FS):

O Fator Solar corresponde a relação entre o ganho de calor que entra através de uma abertura e a radiação solar incidente na mesma, incluindo o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção ao ambiente. No RTQ-C o fator solar considerado é relativo a uma incidência solar ortogonal à abertura. Este parâmetro costuma ser informado pelo fabricante do vidro ou material transparente, contudo, não foi possível conseguir essa informação, pois não constava na especificação dos vidros no projeto de arquitetura nem no caderno técnico de especificações.

Adotou-se então o Fator Solar para tipologia de vidro liso comum igual a 0,86.

FS = 0,86

A.5 - Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS):

O ângulo vertical de sobreamento, conforme indica o RTQ-C, é formado entre a base da folha de vidro e o ponto mais distante da proteção solar horizontal, ou de partes adjacentes do edifício que funcionam como tal. Para o emprego na equação do Indicador de consumo da envoltória o AVS deve ser resultado da média ponderada do ângulo vertical de sobreamento em função da área das aberturas. Portanto, foi levantando o ângulo vertical de cada abertura, separado por fachada, com os resultados organizados em tabela para posterior somatória.

Fachada	AVS
Leste	38,77
Norte	36,68
Oeste	11,51
Sul	54,78
Total	141,74

Fonte: Oliveira, 2013.

A.6 - Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS):

O ângulo horizontal de sobreamento foi obtido a partir do ângulo formado entre o plano na base da folha de vidro e o segundo plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro. Foi levantado o ângulo de cada abertura transparente que tivesse elemento de proteção solar vertical ou partes do edifício que funcionasse como tal. Os valores dos ângulos das proteções foram obtidos por meio dos desenhos em planta, considerando os dois lados de cada abertura, sendo computado a média do ângulo das duas proteções solares, mesmo quando há proteção em apenas um lado da abertura. Tal qual o AVS, o AHS empregado na equação do Indicador de Consumo da envoltória é resultado da média ponderada pela área transparente das aberturas.

Fachada	AHS
Leste	15,09
Norte	21,08
Oeste	11,51
Sul	12,45
Total	60,13

Fonte: Oliveira, 2013.

A.7 – Transmitância térmica das paredes

Descrição	Transmitância (U)	Capacidade Térmica (C_T)	Atraso Térmico (ϕ)	Área (m^2)	Ponderação da área	Transmitância ponderada
	W/m ² K	mJ/m ² k	Horas			
Parede de tijolos de 8 furos quadrados,						

assentados na menor dimensão. Dimensão do tijolo: 9x19x19 cm. Espessura total da parede: 14 cm.	2,49	158	3,3	1417,12	0,94	2,34
Parede dupla de tijolo de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão. Dimensão do tijolo: 10x15x20 cm. Espessura total da parede: 26 cm.	1,52	248	6,5	81,82	0,06	0,09
Transmitância final utilizada						2,43

Fonte: Oliveira, 2013.

A.8 – Absortância térmica das paredes

Material	Área (m ²)	Absortância	Ponderação pela área	Absortância ponderada	Absortância final
Parede de alvenaria com acabamento externo em pintura acrílica na cor branca.	491,39	0,20	0,33	0,066	0,556
Parede de alvenaria com acabamento externo em pintura acrílica na cor vermelho,	1007,25	0,74	0,67	0,49	

Fonte: Oliveira, 2013.

A.9 – Transmitância térmica da cobertura

Material	Área (m ²)	Transmitância	Ponderação pela área	Transmitância ponderada	Transmitância final
Telha metálica	574,75	0,84	0,85	0,714	1,1235
Laje maciça + manta asfáltica	68,66	3,57	0,10	0,357	
Laje pré-moldada + revestimento cerâmico	31,02	1,05	0,05	0,0525	

Fonte: Oliveira, 2013.

A.9 – Absortância térmica da cobertura

Material	Área (m ²)	Absortância	Ponderação pela área	Absortância ponderada	Absortância final
Telha metálica	574,75	0,20	0,85	0,17	0,278
Laje maciça + manta asfáltica	68,66	0,98	0,10	0,098	
Laje pré-moldada + revestimento cerâmico	31,02	0,20	0,05	0,01	

Fonte: Oliveira, 2013.