



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

PAULLA HORTÊNCIA FREITAS VASCONCELOS

**ANÁLISE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA E DO
SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR: ESTUDO DE CASO EM
SALAS DE AULA DO IFTO CAMPUS PALMAS**

Palmas - TO

2015

PAULLA HORTÊNCIA FREITAS VASCONCELOS

**ANÁLISE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA E DO
SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR: ESTUDO DE CASO EM
SALAS DE AULA DO IFTO CAMPUS PALMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação da Área de
Indústria como requisito parcial para
obtenção da conclusão do Curso Superior
de Tecnologia em Sistemas Elétricos no
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins – *Campus*
Palmas.

Orientador Prof.Dr. Ricardo Frangiosi de
Moura

**Palmas - TO
2015**

Vasconcelos, Paula

Análise do Nível de Eficiência da Envoltória e do Sistema de Condicionamento de Ar: Estudo de Caso em Salas de Aula do IFTO Campus Palmas / Paula Hortência Freitas Vasconcelos – Palmas, 2015.

87f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Frangiosi de Moura

1. Eficiência Energética 2. Envoltória 3. Sistema de Condicionamento de Ar I. Análise do Nível de Eficiência da Envoltória e do Sistema de Condicionamento de Ar: Estudo de Caso em Salas de Aula do IFTO Campus Palmas.

PAULLA HORTÊNCIA FREITAS VASCONCELOS

**ANÁLISE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA E DO
SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR: ESTUDO DE CASO EM
SALAS DE AULA DO IFTO CAMPUS PALMAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos pela Coordenação da Área de Indústria no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Palmas*.

Aprovado em: 35 / 04 / 2015



Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt
Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Ricardo Frangios de Moura
Presidente e Orientador



Prof. Dr. Valci-Ferreira Victor
Membro de Banca Examinadora



Prof. Me. Kaisson Teodoro de Souza
Membro de Banca Examinadora

“Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém!”
Romanos 11.36

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a análise do nível de eficiência da envoltória e do sistema de condicionamento de ar em salas de aula do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO, *campus* Palmas. A avaliação teve como subsídio os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, desenvolvidos no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE. Utilizou-se o programa computacional Domus para a realização de simulações termo-energéticas e adotou-se o método prescritivo do RTQ-C. A partir dessa metodologia, obteve-se a representação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE dos níveis de eficiência energética alcançados pelos sistemas avaliados. Os resultados desse estudo permitem concluir que a envoltória da edificação é eficiente e o sistema de condicionamento de ar atual pode ser otimizado através da substituição de equipamentos obsoletos por equipamentos mais eficientes.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Envoltória, Sistema de Condicionamento de Ar.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present an analysis of the level of efficiency of the wrap and air-conditioning system of class rooms at Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins (IFTO), campus of Palmas. The evaluation took as subsidy the Technical Requirements of the Quality Level of Energetic Efficiency of Commercial Buildings, Services, and Publics (RTQ-C), developed within the ambit of the Brazilian Labeling Program (PBE). The computer program, Domus, was used to the accomplishment of thermal energy simulations, and the method prescribed by RTQ-C was applied. From this methodology, a representation of the National Labeling of Energy Conservation (ENCE) of the energy efficiency levels were achieved on the tested systems, was obtained. The results of this study allow it be concluded that the building wrap is efficient and the actual air-conditioning system can be optimized through the substitution of obsolete equipment for more efficient ones.

Key-words: Energy Efficiency, Wrapping, Air-conditioning System

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Taxas de crescimento do PIB x Crescimento do Consumo de Energia Elétrica.....	22
Figura 2:	Consumo de Energia Elétrica por Setor.....	27
Figura 3:	Volumes da série de relatórios que abordam o Programa de Etiquetagem para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.....	29
Figura 4:	ENCE geral de Projeto e ENCE geral da Edificação Construída para edificações comerciais, de serviços e públicos.....	31
Figura 5:	ENCE parcial da envoltória.....	31
Figura 6:	ENCE parcial da envoltória e sistema de iluminação.....	31
Figura 7:	ENCE parcial da envoltória e condicionamento de ar.....	32
Figura 8:	Equivalente Numérico (EqNum) dos níveis de classificação...	35
Figura 9:	Classificação Final.....	36
Figura 10:	Partes da edificação que compõem a envoltória.....	37
Figura 11:	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	42
Figura 12:	Fluxograma de escolha da equação de IC.....	42
Figura 13:	Níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética no Brasil.....	45
Figura 14:	Coeficiente de eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar comercializados no Brasil.....	46
Figura 15:	Condicionador de ar do tipo <i>split</i>	49
Figura 16:	Planta baixa dos Blocos 5 e 5-A.....	53
Figura 17:	Planta baixa dos Blocos 7-A e 9.....	53
Figura 18:	Salas de aula do Bloco 9.....	54

Figura 19: Elementos construtivos da cobertura.....	55
Figura 20: Elementos construtivos das paredes entre salas.....	56
Figura 21: Elementos construtivos das paredes externas.....	56
Figura 22: Horários de ocupação de salas de aula.....	57
Figura 23: Ganhos internos decorrentes de iluminação.....	57
Figura 24: Ganhos internos – Pessoas.....	58
Figura 25: ENCE do condicionador de ar da Sala 902.....	59
Figura 26: Proteção das unidades condensadoras de ar do Bloco 9.....	59
Figura 27: Carga térmica da Sala 902.....	60
Figura 28: Informações dos aparelhos condicionadores de ar.....	60
Figura 29: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5.....	64
Figura 30: Carga térmica prevista – Sala 504.....	65
Figura 31: Carga térmica prevista – Sala 505.....	66
Figura 32: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A.....	68
Figura 33: Carga térmica prevista – Sala 515.....	69
Figura 34: Carga térmica prevista – Sala 516.....	70
Figura 35: Carga térmica prevista – Sala 517.....	70
Figura 36: Carga térmica prevista – Sala 524.....	71
Figura 37: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A.....	73
Figura 38: Carga térmica prevista – Sala 710.....	74
Figura 39: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 9.....	76

Figura 40: Carga térmica prevista – Sala 902.....	77
Figura 41: Carga térmica prevista – Sala 905.....	78
Figura 42: Ence Parcial – Bloco 5.....	79
Figura 43: Ence Parcial- Bloco 5-A.....	79
Figura 44: Ence Parcial – Bloco 7-A.....	80
Figura 45: Ence Parcial- Bloco 9.....	80
Figura 46: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado - Sala 505.....	81
Figura 47: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado - Sala 710.....	82
Figura 48: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado – Sala 905.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Resultados Acumulados pelo Procel (1986-2008).....	24
Tabela 2:	Resultados Anuais da Eletrobras/Procel entre 2009 e 2013...	25
Tabela 3:	Absortância (α) para radiação solar.....	40
Tabela 4:	Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.....	47
Tabela 5:	Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo <i>split</i> , válidos a partir de 16 de agosto de 2013.....	47
Tabela 6:	Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.....	48
Tabela 7:	Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo <i>split</i> , válidos a partir de 16 de agosto de 2014.....	48
Tabela 8:	Dados de entrada do Bloco 5.....	61
Tabela 9:	Dados de entrada do Bloco 5-A.....	61
Tabela 10:	Dados de entrada do Bloco 7-A.....	62
Tabela 11:	Dados de entrada do Bloco 9.....	62
Tabela 12:	Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5.....	65
Tabela 13:	Sistema de condicionamento de ar do Bloco 5.....	67
Tabela 14:	Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A.....	68
Tabela 15:	Sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A.....	72
Tabela 16:	Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A.....	73

Tabela 17: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A.....	75
Tabela 18: Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 9.....	76
Tabela 19: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 9.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
CE	Consumo de Energia
CEE	Coeficiente de Eficiência Energética
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CR	Capacidade de Refrigeração
DPE	Departamento de Desenvolvimento de Projetos Especiais
DPEE	Divisão de Projetos Setoriais de Eficiência Energética
DPEP	Divisão de Desenvolvimento de Projetos Especiais
DPS	Departamento de Planejamento e Estudos de Conservação de Energia
DPSP	Divisão de Planejamento de Conservação de Energia
DPST	Divisão de Suporte Técnico de Conservação de Energia
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FCS	Fator de Calor Solar

GCOI	Grupo Coordenador para a Operação Interligada
GT-EDIFICAÇÕES	Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações do País
GWh	Giga Watt hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kV	Kilo Volt
kWh	Kilo Watt hora
MW	Mega Watt
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PUC-PR	Pontífica Universidade Católica do Paraná
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações
RGR	Reserva Global de Reversão

RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
ST-EDIFICAÇÕES	Secretaria Técnica de Edificações
TWh	Tera Watt hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA DA PESQUISA	18
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 MÉTODO DA PESQUISA.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO HISTÓRICO	21
2.1 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	22
2.1.1 Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.....	23
3 ETIQUETAGEM PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS.....	27
3.1 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES – PBE EDIFICA	28
3.2 ENCE – ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	30
4 RTQ-C – REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS.....	33
4.1 MÉTODO DE SIMULAÇÃO	34
4.2 MÉTODO PRESCRITIVO: PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA	34
4.2.1 Envoltória	36
4.2.1.1 Zona Bioclimática.....	37
4.2.1.2 Transmitância Térmica.....	39
4.2.1.3 Absortância Térmica	40
4.2.1.4 Determinação da Eficiência da Envoltória	41
4.2.2 Sistema de Condicionamento de Ar	43
4.2.2.1 Índices mínimos de eficiência energética em condicionadores de ar.....	44
4.2.2.1 Condicionadores de ar comercializados no Brasil	45
4.2.2.2 Pré-requisito específico para Nível A	49
4.2.2.3 Cálculo de Carga Térmica.....	50
5 METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA	52
5.1 DOMUS – PROCEL EDIFICA.....	52
5.2 ÁREA DE ESTUDO	53
5.2.1 Edificação	54

5.2.2 Dados de entrada.....	56
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
6.1 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR E RESULTADOS DO CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DOS AMBIENTES	63
6.1.1 Resultados e análises do Bloco 5	64
6.1.2 Análises e resultados do Bloco 5-A.....	67
6.1.3 Análises e resultados do Bloco 7-A.....	72
6.1.4 Análises e resultados do Bloco 9	75
6.2 ENCES OBTIDAS NA AVALIAÇÃO DAS SALAS DE AULA DO IFTO.....	79
6.3 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	80
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
7.1 TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

Meio ambiente e eficiência energética são aspectos totalmente conexos, visto que é possível preservar o meio ambiente através do combate aos desperdícios de energia, reduzindo os impactos advindos da oferta desta. Decorrente disso, a eficiência energética é a solução mais econômica, eficaz e rápida para minimizar tais impactos.

Por definição do Ministério do Meio Ambiente, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento.

Otimizar o consumo de energia diminui a perda da mesma para o meio externo. Ou seja, utilizar equipamentos que possuem alta eficiência energética possibilita manter a capacidade máxima de funcionamento e para isso consomem menos energia elétrica. Portanto, devem-se considerar ações que proporcionem a redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia.

A utilização de equipamentos de climatização ambiente é predominante no setor público segundo dados da Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil (2005), que aponta que os principais usos finais de energia nesse setor estão relacionados com a climatização, iluminação e equipamentos de escritórios, sendo os condicionadores de ar responsáveis por 48% do consumo de energia. Portanto, a escolha correta de tais equipamentos deve ser feita considerando-se o nível de eficiência energética a fim de proporcionar o uso racional de energia elétrica.

Ao considerar o exposto, o presente estudo visa realizar análise do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar em salas de aula dos blocos 5, 5-A, 7-A e 9 do IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *campus* Palmas, com base nos Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), de modo a identificar o potencial de economia de energia elétrica nesse sistema, que associado à avaliação da envoltória da edificação (elementos construtivos em contato com o meio exterior) possibilitará obter uma representação

da ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia fornecida pelo Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

1.1 TEMA DA PESQUISA

Eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar e envoltória de prédios públicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é obter a etiqueta ilustrativa de classificação do nível de eficiência energética alcançado pela edificação através do sistema de condicionamento de ar e envoltória de salas de aula dos blocos 5, 5-A, 7-A e 9 do IFTO.

1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar o nível da eficiência energética em salas de aula do IFTO *Campus* Palmas, através do método prescritivo estabelecido pelo RTQ-C.

Classificar as salas de aula de acordo com seus níveis de eficiência ao considerar, além do condicionamento ambiental, a envoltória.

Verificar a concordância entre a capacidade de refrigeração de ar instalada e a carga térmica prevista em cada ambiente.

Aplicar as normas e regulamentos vigentes na classificação do sistema de condicionamento de ar e envoltória das salas de aula objetos do estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA

A preocupação em controlar os gastos com energia teve início na década de 1970 em virtude da crise do petróleo. Com a implicação da crise, o Inmetro iniciou uma discussão a respeito da criação de programas capazes de avaliar a conformidade de produtos disponíveis no mercado com a finalidade de promover a racionalização do uso de energia no Brasil através de informações sobre eficiência energética, além de atender a requisitos mínimos e admissíveis de qualidade e segurança.

A partir de então, tornou-se necessário desenvolver de forma racional, integrada e extensiva a normalização, inspeção, certificação e fiscalização de produtos comercializados no Brasil. Diante dessa necessidade e devido ao racionamento de energia elétrica em 2001 tentou-se reduzir o consumo de eletricidade por meio de programas e leis de eficiência energética. Entre os programas criados, destaca-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE.

Fazem parte do PBE programas de avaliação de conformidade que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE cuja finalidade é prestar informações a respeito do desempenho dos produtos no que diz respeito à eficiência energética dos mesmos. A etiquetagem por meio da ENCE contempla produtos como fogões, refrigeradores, condicionadores de ar, veículos e edificações.

Em meio a isto, a obtenção de um serviço com baixo consumo de energia é evidenciado pelo atendimento de requisitos de desempenho através da ENCE. Portanto, a avaliação do desempenho de sistemas que compõem uma edificação é importante para determinar o nível de eficiência da mesma e para que esta seja comprovadamente eficiente por apresentar condições ambientais com menor consumo de energia.

1.4 MÉTODO DA PESQUISA

Este trabalho se baseou na revisão bibliográfica de estudos e regulamentos publicados por entidades que visam promover o uso racional de energia elétrica. Deste modo, se destacam as iniciativas de programas criados com o intuito de

combater o desperdício de energia elétrica, bem como conscientizar consumidores e promover o aumento da eficiência energética de equipamentos e edificações.

Considerou-se principalmente a eficiência energética em edificações com ênfase nos requisitos de eficiência para prédios públicos. A partir do estudo de caso realizado no IFTO *Campus* Palmas, foi utilizado um programa computacional para realizar simulações termo-energéticas que determinaram o nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar e envoltória.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 7 capítulos. No capítulo 1 são apresentados a introdução, tema da pesquisa, objetivos, justificativa e métodos da pesquisa.

O capítulo 2 aborda a eficiência energética no contexto histórico e consideraram-se as ações de conservação de energia elétrica decorrentes dos investimentos realizados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica- Procel.

No capítulo 3 é apresentada a etiquetagem para edifícios comerciais, de serviços e públicos, integrante do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica e apresentou-se a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE.

O capítulo 4 trata-se do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios – RTQ-C, constituído de pré-requisitos dos sistemas avaliados na edificação.

O capítulo 5 expõe a metodologia aplicada na determinação do nível de eficiência da edificação em estudo, bem como os dados utilizados na avaliação.

O capítulo 6 é constituído dos resultados e discussões acerca do método e informações apresentadas no capítulo 5.

No capítulo 7 são feitas as conclusões quanto à avaliação dos sistemas da edificação objeto do estudo.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO HISTÓRICO

A preocupação mais acentuada com eficiência energética surgiu com as crises do petróleo de 1973 e 1979 que trouxeram a percepção de escassez deste recurso e forçaram a alta dos preços dos energéticos, abrindo espaço para uma série de ações voltadas à conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados (MME, 2011).

A economia mundial passou por profundas transformações no período do pós-73 que repercutiram de forma diferenciada sobre as trajetórias de desenvolvimento tecnológico do primeiro e do terceiro mundo. Essas transformações se traduziram numa evolução divergente da relação entre o consumo de energia – CE e o PIB – Produto Interno Bruto entre esses dois espaços.

Antes de 1973, o consumo de energia da economia mundial crescia a taxas semelhantes as do PIB, tanto no primeiro quanto no terceiro mundo, embora o progresso técnico sempre conduzissem a uma redução dos requerimentos energéticos por unidade de produção material.

A partir de 1973 iniciou-se uma reformulação da trajetória de desenvolvimento tecnológico da sociedade industrial em direção às inovações poupadoras de energia. Um novo paradigma, intensivo em informação, começou a se consolidar difundindo tecnologias propensas a economizar recursos energéticos e materiais.

O Brasil foi o país do terceiro mundo que mais se adiantou, em termos de escala produtiva e desenvolvimento tecnológico, na reprodução da sociedade de consumo dos países desenvolvidos durante o pós-guerra (FURTADO, 2003).

Em decorrência disso, o primeiro choque mundial do petróleo não afetou tão drasticamente a economia brasileira, devido ao “milagre econômico” que, entre 1968 e 1973, levou o PIB a crescer a uma taxa média anual de aproximadamente 10%. A Figura 1 apresenta as taxas médias anuais de crescimento do PIB e do consumo de energia elétrica, bem como as elasticidades-renda resultantes.

O Brasil não foi poupado, porém, do segundo choque, em 1979, que teve reflexos importantes na economia nacional, destacando-se a aceleração do processo inflacionário, a redução das taxas de crescimento do PIB, o desemprego e o desequilíbrio das contas públicas.

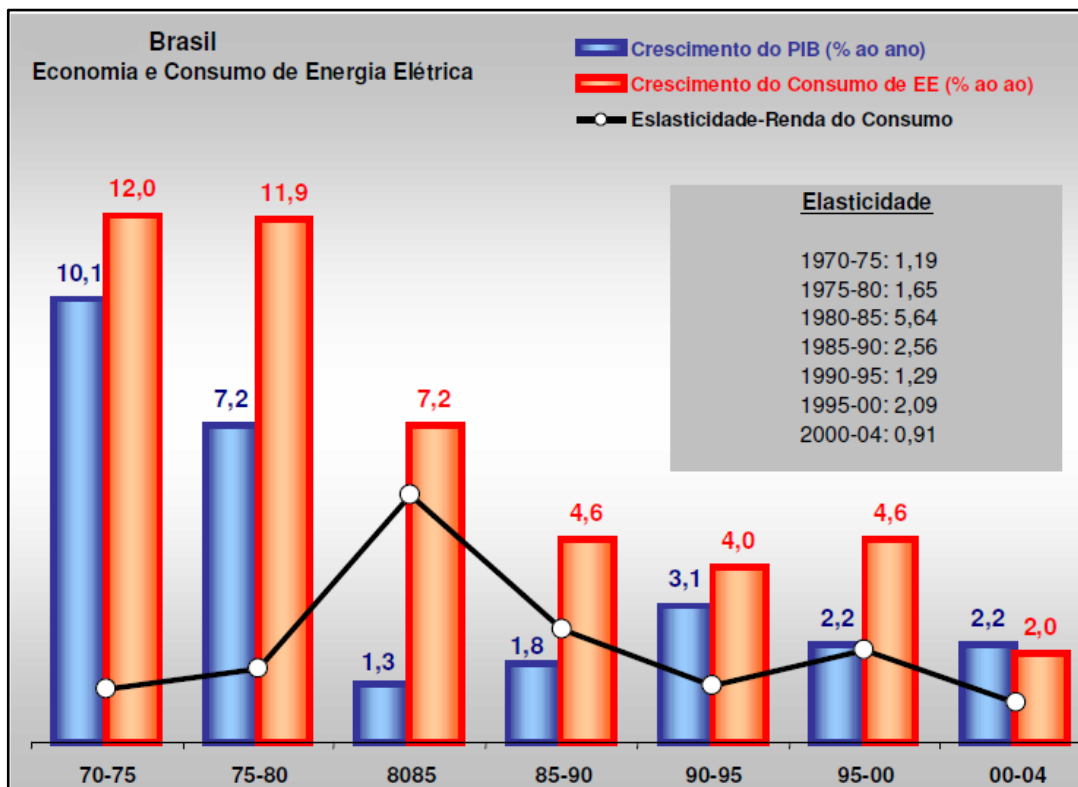


Figura 1: Taxas de crescimento do PIB x Crescimento do Consumo de Energia Elétrica

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2006.

O impacto da percepção mundial da dependência do petróleo levou o mundo todo, pela primeira vez, a abordar o planejamento energético por uma ótica multissetorial, ou seja, integrando o setor elétrico e de petróleo. Além disso, buscou-se uma maior interação entre oferta e demanda nos planos para o setor (VIANA, 2004).

Nesta mesma época, começou uma corrida para a diversificação da matriz energética visando uma maior segurança no atendimento à demanda de energia. Com isso, ressaltou-se a percepção de que o aumento de eficiência pode constituir uma das formas mais econômicas e ambientalmente favoráveis de atendimento de parte dos requisitos de energia (MME, 2011).

2.1 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil, a conservação de energia elétrica teve início oficial a partir de 1974 com a criação do Grupo Coordenador para a Operação Interligada GCOI (REIS, Lineu Belico; SILVEIRA, Semida; 2001). Este foi criado com o objetivo de coordenar o uso racional das instalações geradoras e de transmissão existentes no Sistema

Elétrico interligado, além de realizar o planejamento e operação dos sistemas interligados. O GCOI conseguiu aumentar a eficiência energética através da otimização do fluxo dos blocos de energia e demanda e dos aproveitamentos hidráulicos.

2.1.1 Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Em 1985 foi instituído o Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, de 30/12/85 e sua atuação inicial caracterizou-se pela sistematizada promoção do uso eficiente de energia elétrica no país, através da coordenação das ações voltadas à racionalização de energia elétrica implementadas em todo o país. O Programa objetivava o combate ao desperdício na produção e no uso da energia elétrica, propiciando o mesmo produto ou serviço com menor consumo, em função da maior eficiência energética, assegurando, dessa forma, uma redução de custos e de investimentos em novas instalações do sistema elétrico.

Desde a criação do Programa em 1985 até 1989, o enfoque deste foi a preocupação com a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, além disso, o interesse pela incorporação de novas tecnologias ao acervo científico e tecnológico do país. Também se destacou a promoção de assistência tecnológica ao segmento industrial, através da integração e fortalecimento das instituições de desenvolvimento tecnológico, como condição para o desenvolvimento de uma efetiva capacitação nacional no âmbito da conservação de energia elétrica. Outro destaque foi a disposição em promover e fomentar a pesquisa, visando melhor conhecimento do comportamento do mercado consumidor (uso final) de energia elétrica, analisando desde os hábitos de consumo até a eficiência dos aparelhos de uso final de energia elétrica. Ao mesmo tempo em que houve a promoção da conservação de energia elétrica através da normalização, padronização e certificação de equipamentos empregados no uso final da energia (MME, 2007).

Em 1989 promoveu-se uma reformulação na estrutura operacional do Procel. Neste sentido, a proposta de reestruturação operacional comprometeu-se a empreender maior agilidade às ações de cunho executivo, que resultassem em economias reais de energia, mensuráveis em kWh. Dessa forma, buscou-se um

sistema de gestão mais voltado para os fins, deixando-se de lado o enfoque social na determinação da relação custo-benefício e privilegiando-se a contabilização direta dos resultados (economias em kWh) obtidos com os esforços direcionados à conservação de energia elétrica. (MME, 2007).

Através da Tabela 1 é possível verificar os resultados obtidos pelo Procel entre 1986 e 2008. No que diz respeito aos investimentos, ao longo de mais de vinte anos de existência, investiu-se mais de R\$ 1 bilhão, recursos oriundos principalmente do orçamento da própria Eletrobras e da Reserva Global de Reversão – RGR (fundo federal constituído com recursos das concessionárias). O Programa possibilitou uma economia de energia acumulada, no período supracitado, de 32,9 TWh, reduzindo a demanda na ponta em aproximadamente 9.538 MW. Somente essa economia de energia corresponde a investimentos evitados de aproximadamente R\$ 22.8 bilhões. A Tabela 2 apresenta o histórico de resultados obtidos nos entre 2009 e 2013.

Tabela 1: Resultados Acumulados pelo Procel (1986-2008)

	Total
Investimentos totais realizados (R\$ Milhão) ^(a)	1.055
Energia Economizada e Geração Adicional (Milhões de kWh/ano) ^(b)	32.902
Redução de Demanda na Ponta (MW)	9.538
Usina Equivalente (MW) ^(c)	7.890
Investimento Postergado (R\$ Milhões)	22.807

Fonte: Eletrobras/Procel Avaliação, 2008

- a)** Inclui a parcela relativa à RGR e os Recursos do Projeto de Eficiência Energética para o Brasil;
- b)** A energia economizada e a geração adicional acumuladas são calculadas apenas adicionando-se as economias a cada ano, não considerando a persistência das medidas implementadas.
- c)** Obtida a partir da energia economizada, considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas médias na T&D para a parcela de conservação de energia.

Tabela 2: Resultados Anuais da Eletrobras/Procel entre 2009 e 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
Energia Economizada (GWh)	5.473	6.164	6.696	9.097	9.744
Redução de Demanda na Ponta (MW)	2.098	2.425	2.619	3.459	3.769
Usina Equivalente	1.312	1.478	1.606	2.182	2.337
Investimento Postergado (R\$ Milhões)	1.039,23	855,33	872,28	1.010,95	1.082,42

Fonte: Eletrobras/Procel Avaliação, 2014

Em 18 de julho de 1991, por Decreto Presidencial, o Procel deixou de ser um programa setorial e foi transformado em programa de governo, tendo sua abrangência e responsabilidades ampliadas, visto que o Programa passou a não se restringir apenas ao setor elétrico, articulando-se, a partir de então, com todos os segmentos da sociedade ligados direta ou indiretamente à produção e ao uso da energia elétrica (MME, 2007).

Iniciou-se, a partir de 1994, um processo de revitalização do Procel, visando aumentar seu poder de articulação e coordenação, bem como descentralizar as atividades executivas. Essa descentralização foi conduzida por meio de uma melhor estruturação das áreas de conservação nas Concessionárias de energia elétrica, bem como através do estabelecimento de convênios com centros de competência nas diversas áreas envolvidas com a implementação de programas de combate ao desperdício de energia nos Estados e nas universidades, estimulando a capacitação de multiplicadores e fortalecendo, ainda, a relação do Programa com a iniciativa privada, nos seus papéis de consumidora e produtora de equipamentos e de bens de consumo (MME, 2007).

Diante desse processo de revitalização, o Procel implantou nova orientação, obedecendo às seguintes estratégias:

- Coordenar o marketing do combate ao desperdício, em âmbito nacional;
- Conscientizar os consumidores sobre o problema do uso inadequado da energia elétrica, alertando que ela é um bem escasso;

- Promover, junto aos fabricantes, acordos para aumento da eficiência de equipamentos elétricos;
- Implementar projetos de efficientização energética em cada segmento de consumo, através de consumidores-chave, que possam vir a atuar como formadores de opinião em seus respectivos setores;
- Buscar, junto aos agentes de financiamento, recursos para viabilização de projetos de combate ao desperdício;
- Tornar as instituições de ensino agentes multiplicadores da idéia do combate ao desperdício de energia elétrica;
- Propor medidas nas áreas de legislação e normalização, no sentido de estipular padrões mínimos de eficiência energética.

Atualmente o Procel está estruturado em dois departamentos. O Departamento de Desenvolvimento de Projetos Especiais – DPE composto pela Divisão de Desenvolvimento de Projetos Especiais – DPEP e a Divisão de Projetos Setoriais de Eficiência Energética – DPEE e o Departamento de Planejamento e Estudos de Conservação de Energia – DPS composto pela Divisão de Planejamento de Conservação de Energia – DPSP e pela Divisão de Suporte Técnico de Conservação de Energia – DPST.

As áreas do DPS estão direcionadas para ações de suporte técnico aos projetos do PROCEL e de planejamento, bem como promoção de tecnologias eficientes (PROCEL Selo, PROCEL Educação, PROCEL Marketing, PROCEL Info, PROCEL Avaliação e Estudos e Projetos). Enquanto as áreas do DPE atuam diretamente na execução de ações e projetos nos segmentos público e privado (PROCEL Reluz, PROCEL Sanear, PROCEL GEM, PROCEL Edifica, PROCEL EPP e PROCEL Indústria).

3 ETIQUETAGEM PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional – BEN (2013), as edificações do poder público representam 8% do consumo de energia elétrica no Brasil, conforme ilustrado na Figura 2, onde associado às edificações comerciais e residenciais indicam uma parcela significativa no consumo de energia elétrica no Brasil, aproximadamente 50%. Neste sentido, o Procel Edifica, subprograma do Procel, tem por objetivo principal desenvolver atividades que tenham em vista a divulgação e o estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações.

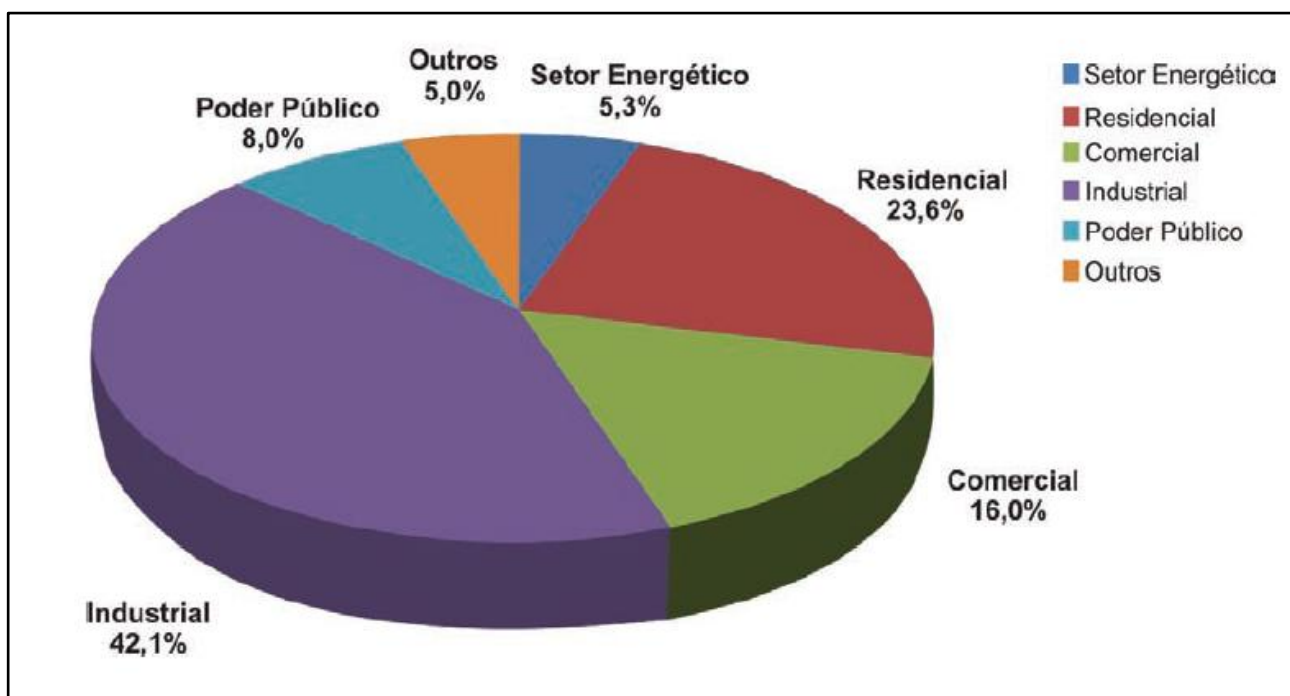


Figura 2: Consumo de Energia Elétrica por Setor

Fonte: BEN, 2013.

A maioria das edificações apresenta grande desperdício de energia, por não considerar aspectos relativos às áreas de arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologias construtivas que permitam um melhor uso da energia sem abrir mão do conforto dos usuários (ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2013).

3.1 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES – PBE EDIFICA

O início do processo de etiquetagem de edificações foi decorrente da promulgação da Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética.

O Decreto nº 4059/2001, ao regulamentar a Lei de Eficiência Energética, criou, para edificações, o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações) para regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil visando ao uso racional da energia elétrica.

O GT-Edificações criou, em 2005, a Secretaria Técnica de Edificações (ST-Edificações) com competência para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética. Decorrente da criação da ST, o Procel Edifica foi nomeado coordenador desta. Nesse mesmo período, o Inmetro passou a integrar o processo através da criação da Comissão Técnica de Edificações, a Comissão Técnica onde é discutido e definido o processo de obtenção da ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

A partir de então, desenvolveu-se, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R (ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2013).

O RTQ-C é o documento que permite ao edifício obter a ENCE. Este contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética do edifício. O RAC-C apresenta o processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Laboratório de Inspeção acreditado pelo Inmetro. É formado por duas etapas de avaliação: etapa de projeto e etapa de inspeção do edifício construído, onde se obtém a autorização para uso da etiqueta. Já o Manual contém detalhamento e interpretações do RTQ-C e esclarece algumas questões

referentes ao RAC-C. Nesta vertente, um conjunto de publicações contendo quatro volumes foi elaborado pelo Inmetro (Figura 3).



Figura 3: Volumes da série de relatórios que abordam o Programa de Etiquetagem para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

Fonte: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, 2013.

3.2 ENCE – ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é o Selo de Conformidade que evidencia o atendimento a requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos e, em alguns casos, adicionalmente, também de segurança. A ENCE tem como principal informação a eficiência energética do produto cujo desempenho foi avaliado (ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2014).

A ENCE é obtida mediante a avaliação da edificação a partir dos requisitos contidos nos regulamentos técnicos RTQ-C e RTQ-R e segundo as regras estabelecidas no RAC.

A obtenção de uma etiqueta de eficiência não é definitiva e pode ser continuamente melhorada com inovações tecnológicas ao longo dos anos, criando o hábito do aprimoramento constante em eficiência energética.

As edificações comerciais, de serviços e públicos são avaliadas quanto ao desempenho de envoltória, e de sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Podem receber uma ENCE geral, quando os três itens são avaliados, ou parcial, quando a envoltória é avaliada separadamente ou combinada com um dos demais sistemas.

A ENCE Geral indicará qual o nível de eficiência energética alcançado pelo conjunto dos sistemas. A Figura 4 apresenta o modelo da ENCE Geral de Projeto e ENCE geral da Edificação Construída. Esta pode ser fornecida para todo o edifício avaliado, ou parcela destes.

A ENCE Parcial é fornecida para edifícios com avaliação de um ou dois sistemas. A avaliação dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar pode ser realizada para apenas uma parcela do edifício. A ENCE Parcial pode ter as seguintes combinações: envoltória (Figura 5), envoltória mais sistema de iluminação (Figura 6) e envoltória mais sistema de condicionamento de ar (Figura 7).

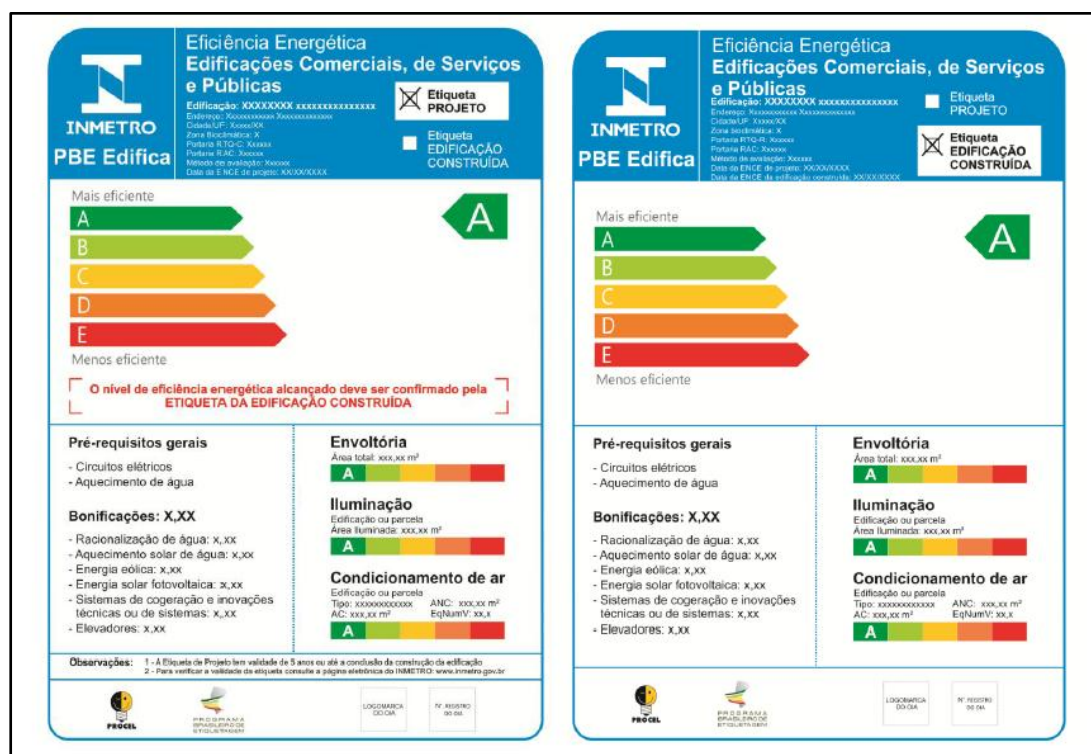


Figura 4: ENCE geral de Projeto e ENCE geral da Edificação Construída para edificações comerciais, de serviços e públicas

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013



Figura 5: ENCE parcial da envoltória

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013



Figura 6: ENCE parcial da envoltória e sistema de iluminação

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013



Figura 7: ENCE parcial da envoltória e condicionamento de ar
Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013

É importante ressaltar que a inspeção da envoltória deve ser realizada para a edificação completa, enquanto que a inspeção dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar pode ser realizada para pavimento(s) ou conjunto de ambientes da edificação. Portanto, somente as parcelas da edificação avaliadas podem receber a etiqueta.

A emissão das ENCEs é realizada pelo Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), cuja competência é reconhecida formalmente pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre).

4 RTQ-C – REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

O RTQ-C foi desenvolvido no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE e instituído pela Portaria n.º 50 de 01 de fevereiro de 2013, com intuito de estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Eficiência Energética de Edificações, através do mecanismo da Inspeção, objetivando a concessão da ENCE, de acordo com os Regulamentos Técnicos da Qualidade para este objeto, e visando estimular a concepção de edificações mais eficientes.

As exigências contidas no RTQ-C devem ser avaliadas por um laboratório de inspeção designado ou acreditado pelo Inmetro, de forma que este verifique as características projetadas e construídas do edifício para indicar qual o nível de eficiência alcançado por este (MME, 2013). Portanto, o presente estudo trata-se apenas de uma ilustração de etiquetagem da envoltória e do sistema de condicionamento de ar, baseada nas orientações e exigências do referido regulamento. Este se aplica a edifícios com área total útil mínima de 500 m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV.

O RTQ-C visa atingir o nível A de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Para obtenção da etiqueta, podem ser utilizados os seguintes métodos:

- Método de simulação: usando o método prescritivo e a simulação do desempenho termo-energético de edifícios condicionados e não condicionados;
- Método prescritivo: através da aplicação de uma equação fornecida, válida para edifícios condicionados.

4.1 MÉTODO DE SIMULAÇÃO

De acordo com o manual para aplicação do RTQ-C, o método da simulação compara o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido.

A avaliação da edificação por meio da simulação utiliza um modelo real com todas as características do edifício avaliado; e quatro modelos de referência, semelhantes ao modelo real, com especificações que vão de acordo com os demais níveis de eficiência (A, B, C e D). O método prescritivo deve ser utilizado para determinação de alguns parâmetros do modelo de referência, conforme os níveis de eficiência. É importante a simulação dos quatro modelos de referência, para permitir melhor análise do modelo real.

Após serem estabelecidas as características de cada um dos modelos, real e de referência, estas deverão ser empregadas no mesmo programa de simulação, utilizando o mesmo arquivo climático. A partir dos resultados das simulações é possível verificar se o modelo real tem consumo de energia anual igual ou menor ao da edificação de referência para o nível almejado.

4.2 MÉTODO PRESCRITIVO: PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA

O método prescritivo é um método simplificado que avalia as edificações através de equações e tabelas (MME, 2013). Foram etiquetadas 125 (cento e vinte e cinco) edificações no Brasil até janeiro de 2015, destas, 76 (setenta e seis) foram avaliadas pelo método prescritivo, conforme dados do Inmetro. Em virtude disso, este foi o método adotado para avaliação do nível de eficiência das salas de aula objetos do presente estudo.

O processo de etiquetagem de eficiência energética de edificações deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento do ar. Estes requisitos possuem níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Para obtenção da classificação geral do edifício, as classificações por requisitos devem ser avaliadas. Para isso, são atribuídos pesos a cada requisito – Envoltória (30%), Sistema de Iluminação (30%) e Sistema de Condicionamento de Ar (40%) – e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) apresentada na ENCE.

O nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes, atribuídos conforme a Figura 8.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Figura 8: Equivalente Numérico (EqNum) dos níveis de classificação

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da Equação 1.

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

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação (DPI: Densidade de Potência de Iluminação);

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

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

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

ANC: área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC: área útil dos ambientes condicionados;

AU: área útil;

b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

A pontuação resultante da aplicação da Eq. 1 definirá a classificação da edificação, como especificado na Figura 9.

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

Figura 9: Classificação Final

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013

4.2.1 Envoltória

Por definição, envoltória é o conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. Todos os elementos acima do nível do solo e em contato com o exterior ou com outra edificação pertencem à envoltória.

Na Figura 10 constata-se o exemplo das partes que são consideradas envoltória e em vermelho destaca-se o solo, que é excluído, visto que se consideram apenas os elementos acima deste.

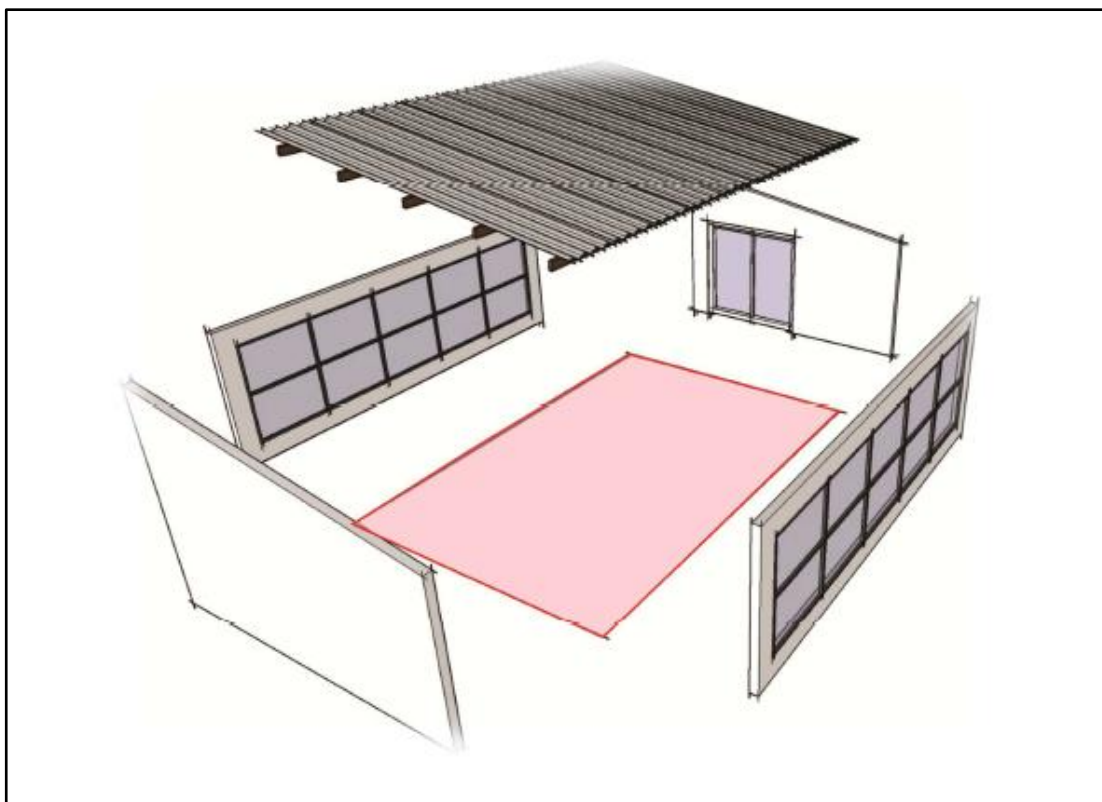


Figura 10: Partes da edificação que compõem a envoltória

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013

Para obtenção da classificação do nível de eficiência da envoltória, deverão ser atendidos os requisitos de acordo com o nível de eficiência pretendido.

4.2.1.1 Zona Bioclimática

O zoneamento bioclimático brasileiro é constituído por oito zonas, que compreendem as regiões geográficas que possuem homogeneidade quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. A divisão do território brasileiro em zonas está representada na Figura 11. Para cada zona, há um conjunto de recomendações técnico-construtivas

que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de adequação climática.

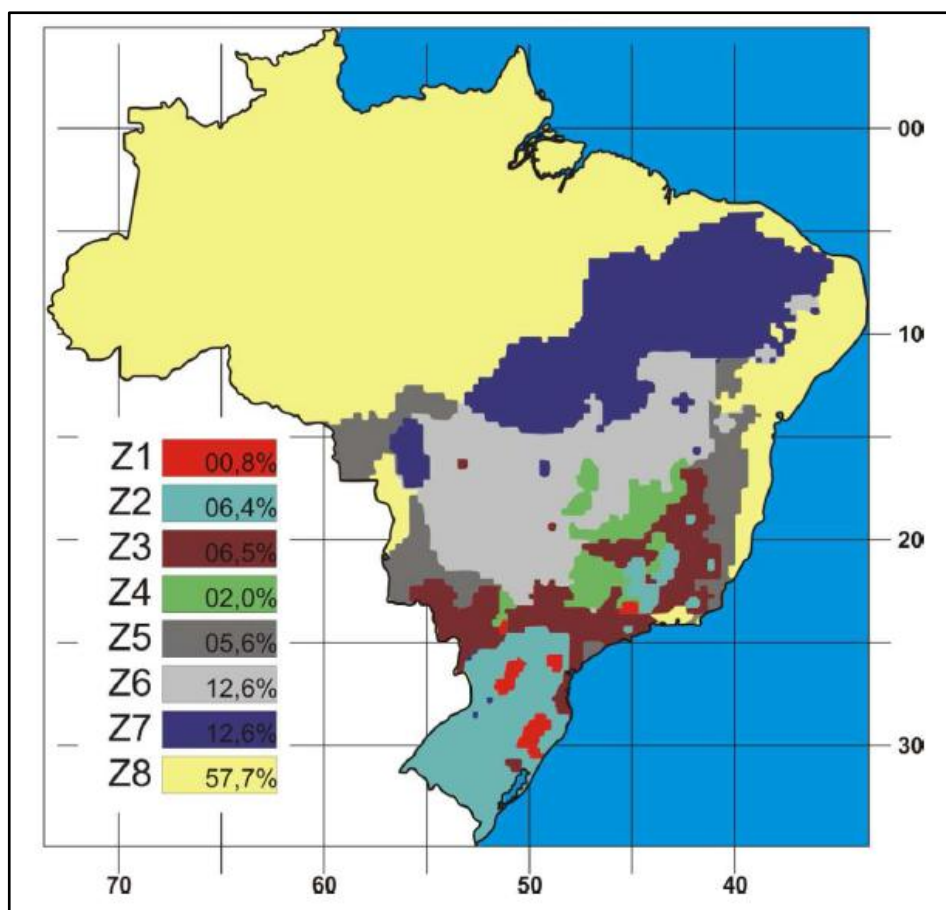


Figura 11: Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: MME, 2010.

Palmas, cidade onde se localiza a edificação do estudo de caso, está inserida na Zona Bioclimática 7. Para atendimento das orientações citadas na Norma NBR 15220 – Parte 3, as aberturas para ventilação devem ser pequenas e é recomendável sombrear as aberturas. As vedações externas devem ser pesadas, tanto para paredes quanto para cobertura.

4.2.1.2 Transmitância Térmica

Transmitância térmica é definida como a transferência de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, no caso da envoltória, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, influenciada pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220 - Parte 2.

De acordo com a norma supracitada, a transmitância térmica de componente é calculada conforme a Equação 2, em que esta propriedade é o inverso da resistência térmica total.

$$U_T = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

Onde:

U_T : Transmitância térmica de um componente ($W/m^2.K$);

R_T : Resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$).

Para a Zona Bioclimática 7, a transmitância térmica máxima das paredes externas deve ser de $2,5 W/m^2K$ para paredes com capacidade térmica máxima de $80 kJ/m^2K$ e de $3,7 W/m^2K$ para paredes com capacidade térmica superior a $80kJ/m^2K$.

A transmitância térmica a ser considerada é a média ponderada das transmitâncias de cada parcela de paredes externas pelas áreas que ocupam.

Como pré-requisito da classificação do nível de eficiência da envoltória para o **nível A**, para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar $1,0 W/m^2.K$. Enquanto para o **nível B**, para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar $1,5 W/m^2. K$. E para os **níveis C e D**, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar $2,0 W/m^2. K$.

Para determinação da transmitância, é considerada a média ponderada das transmitâncias de cada parcela da cobertura pelas áreas que ocupam.

4.2.1.3 Absortância Térmica

Absortância à radiação solar (α) é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005). Ou seja, é uma propriedade do material referente à parcela da radiação absorvida pelo mesmo, comumente relacionada à cor. Quanto maior for a absortância, maior será a parcela da energia incidente que se transforma em calor após incidir sobre um material opaco. Algumas cores e materiais possuem valores de absortâncias demonstrados no Anexo B da NBR 15220-2, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Absortância (α) para radiação solar

Tipo de superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Calçada nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
Alumínio	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: NBR 15220, 2005

São obrigatórios os seguintes pré-requisitos para a Zona Bioclimática 7:

- Utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorptância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (cores claras);
- Em coberturas não aparentes, a utilização de cor de absorptância solar baixa, $\alpha < 0,4$; telhas cerâmicas não esmaltadas ou teto jardim. Os pisos de áreas sem fechamentos laterais localizadas sobre ambientes de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de absorptância solar de coberturas.

A absorptância solar a ser considerada é a média das absorptâncias de cada parcela da fachada (ou cobertura) ponderadas pela área que ocupam.

4.2.1.4 Determinação da Eficiência da Envoltória

Para se determinar a eficiência da envoltória utiliza-se como parâmetro um indicador de consumo (IC_{env}), que pode ser obtido por meio de duas equações. O IC_{env} não pode ser considerado como o consumo de energia da edificação, visto que o consumo é condicionado a parâmetros não incluídos nas equações, a exemplo, as cargas internas e eficiência do sistema de condicionamento de ar.

Essas equações são distintas devido às zonas bioclimáticas, em que uma é utilizada para edificações cuja área de projeção (A_{pe})¹ é menor que 500 m² e a outra para edifícios com área de projeção superior a 500 m². Para a escolha da equação de determinação do IC_{env} , pode-se seguir os passos descritos na Figura 12.

As equações para $A_{pe} > 500$ m² são válidas para um Fator de Forma mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}). As equações para $A_{pe} < 500$ m² são válidas para um Fator de Forma máximo permitido (A_{env}/V_{tot}). Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites (MME, 2013).

¹ A área de projeção da edificação (A_{pe}) é igual à área de projeção da cobertura em edifícios de formato regular, no entanto em edifícios de formato irregular a A_{pe} é a média da projeção dos pavimentos (MME, 2013).

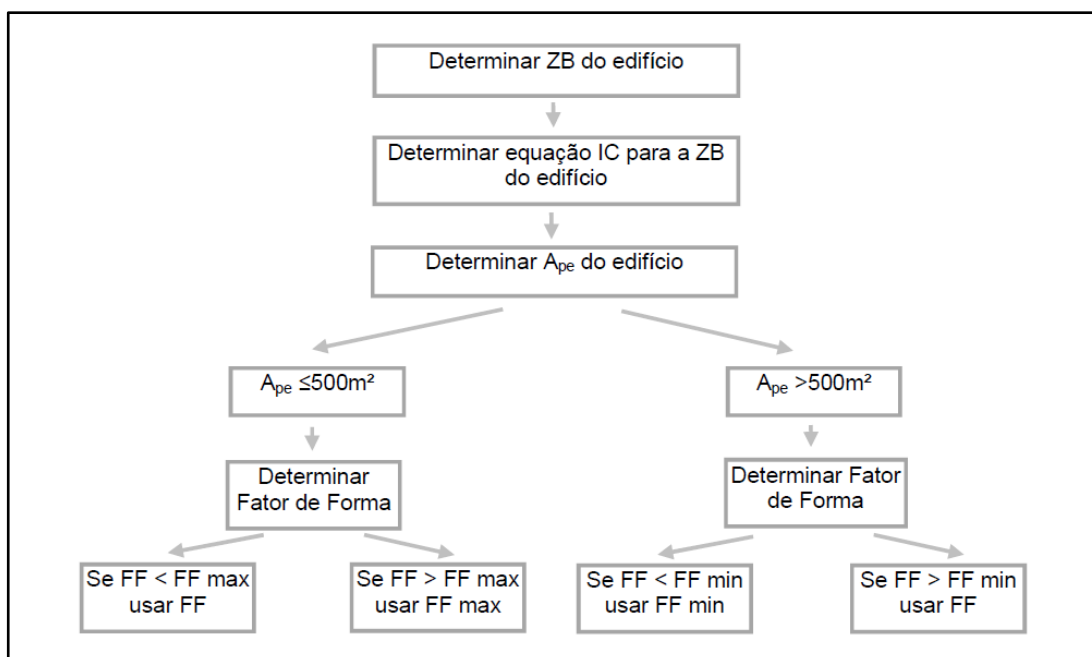


Figura 12: Fluxograma de escolha da equação de IC

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2013

O IC_{env} deve ser calculado conforme a Equação 3 (para $A_{pe} \leq 500m^2$ e fator de forma máximo = 0,60) ou Equação 4 (para $A_{pe} > 500 m^2$ e fator de forma mínimo = 0,17), oriundas da Zona Bioclimática 7, onde o edifício está inserido.

$$IC_{env} = 32,62.FA - 580,03.FF - 8,59.PAF_T + 18,48.FS - 0,62.AVS - 0,47.AHS + 200.\frac{FA}{FF} - 192,5.FA.FF + 70,22.FF.PAF_T - 0,55.PAF_T.AHS + 318,65. \quad (3)$$

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04.\frac{AHS}{PAF_T.FS} - 306,35 \quad (4)$$

Onde:

IC : Indicador de Consumo (adimensional)

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

A_{tot} : Área total de piso (m^2)

A_{env} : Área da envoltória (m^2)

AVS : Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)

AHS : Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)

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)

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica da classificação de eficiência é variável e deve ser determinada para cada volumetria de edifício através dos parâmetros Fator Altura e Fator de Forma: razão entre a área de projeção da cobertura e a área total de piso (A_{pcob}/A_{tot}) e razão entre a área da envoltória e o volume total (A_{env}/V_{tot}). Os demais parâmetros da equação são fornecidos (MME, 2013).

4.2.2 Sistema de Condicionamento de Ar

Sistema de condicionamento de ar é o conjunto de equipamentos utilizados para manter um ambiente artificialmente adequado ao conforto humano. As principais funções desse sistema são aquecer, resfriar, umidificar, desumidificar e distribuir o ar condicionado apropriadamente limpo para compensar as cargas latentes e sensíveis impostas ao ambiente condicionado. Isto inclui o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar.

A unidade de medida de eficiência energética utilizada no Brasil é o *Energy Efficiency Ratio* (EER) ou *Coefficient of Performance* (COP), resultante da razão entre a capacidade total de resfriamento (Btu/h) e a potência requerida (W) sob condições operacionais estabelecidas. No entanto, a determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar depende, além do nível de eficiência do equipamento, do cumprimento dos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C.

Existem dois tipos de sistema de condicionamento de ar: aqueles que utilizam aparelhos já etiquetados pelo PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem e aqueles que não possuem etiqueta.

Para classificação do nível de eficiência, é obrigatório que os edifícios condicionados artificialmente possuam sistemas de condicionamento de ar com eficiência conhecida.

4.2.2.1 Índices mínimos de eficiência energética em condicionadores de ar

Em 2001 foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Entre as realizações do CGIEE está a definição de níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética para condicionadores de ar.

A Portaria Interministerial nº 364 publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 2007 aprovou regulamentação específica de condicionadores de ar. Nesta portaria ficou estabelecido o índice mínimo de eficiência energética de 2,39 W/W para condicionadores do tipo *split*, e índices mínimos variando de 2,08 a 2,24 W/W para condicionadores de janela. Essa variação se dá em função da capacidade de refrigeração do equipamento.

Já em 2011, a Portaria Interministerial nº 323 foi publicada alterando as exigências para condicionadores de ar, com o intuito de elevar os índices mínimos. Em decorrência da alteração de tais índices, ficaram estabelecidos os níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética de 2,60 W/W para condicionadores *split*, e 2,30 a 2,78 W/W para condicionadores de janela.

A comparação entre os valores indicados nas duas portarias supracitadas está representada na Figura 13, conforme a Capacidade de Refrigeração (CR) expressa em Btu/h. Os novos níveis mínimos estão em vigor para fabricação e importação dos equipamentos, enquanto para a comercialização aos usuários só passaram a valer a partir de dezembro de 2013 para aparelhos tipo janela e *split* high-wall, e apenas a partir de dezembro de 2014 no caso de aparelhos *split* cassete e piso-teto.

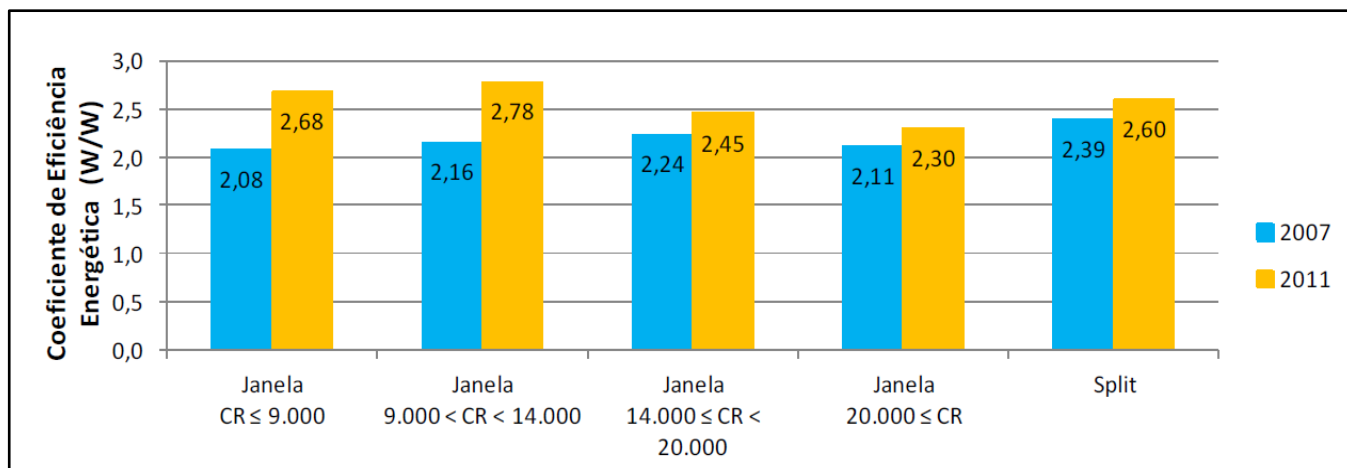


Figura 13: Níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética no Brasil

Fonte: CB3E, 2015

A elevação das exigências relacionadas à eficiência energética de equipamentos é uma necessidade evidente, visto que a regulamentação de índices mínimos associada à certificação de conformidade torna as ações dos programas de eficiência em vigência bem sucedidas em relação à redução do consumo energético dos produtos no mercado.

4.2.2.1 Condicionadores de ar comercializados no Brasil

Os aparelhos condicionadores de ar comercializados no Brasil são inspecionados pelo Inmetro, de acordo com cada categoria. Os dados do PBE mostram a eficiência energética destes produtos. De acordo com dados do Inmetro, a maioria dos equipamentos apresenta eficiência energética menor que 3,2 W/W e a maior eficiência encontrada foi 4,79 W/W. Na Figura 14, estão expostos os coeficientes de eficiência energética dos sistemas comercializados aprovados pelo PBE. Todos os produtos aprovados e, portanto, autorizados a utilizar a ENCE, são apresentados em tabelas no endereço eletrônico do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br>).

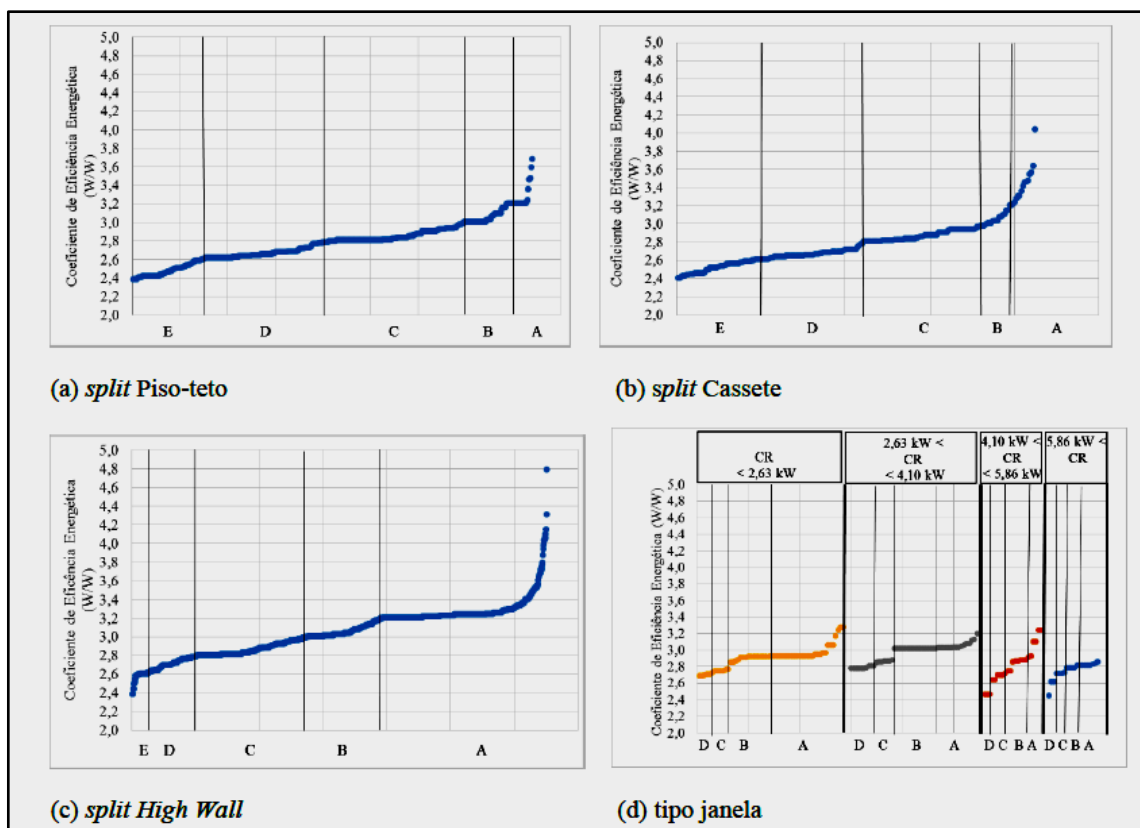


Figura 14: Coeficiente de eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar comercializados no Brasil.

Fonte: INMETRO, 2014.

Além dos níveis mínimos de eficiência exigidos pela Portaria nº 323, o Inmetro estabelece classes de etiquetagem de eficiência energética. As Tabelas 4 e 5 indicam as classes de A a E atribuídas aos aparelhos. No entanto, para equipamentos comercializados a partir de 16 de agosto de 2014 o programa se tornou mais restritivo, pois os fabricantes e importadores deverão etiquetar os produtos conforme indicação nas Tabelas 6 e 7, que determinam classes de etiquetagem apenas de A a D, pois retiraram a classe E. A partir de 16 de fevereiro de 2015, poderão ser comercializados apenas os equipamentos em conformidade com as Tabelas 6 e 7. A próxima revisão dos índices mínimos está prevista para janeiro de 2016, posteriormente esta revisão será realizada a cada 4 anos.

Tabela 4: Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.

Coeficiente de eficiência energética (W/W)				
Classes	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
	Capacidade de Refrigeração ≤ 9.000 Btu/h	Capacidade de Refrigeração 9.001 a 13.999 Btu/h	Capacidade de Refrigeração 14.000 a 19.999 Btu/h	Capacidade de Refrigeração ≥ 20.000 Btu/h
	Potência ≤ 2.637 W	Potência 2.637 W a 4.102 W	Potência 4.102 W a 5.860 W	Potência ≥ 5.860 W
A	$\geq 2,91$	$\geq 3,02$	$\geq 2,87$	$\geq 2,82$
B	$\geq 2,68$	$\geq 2,78$	$\geq 2,70$	$\geq 2,62$
C	$\geq 2,47$	$\geq 2,56$	$\geq 2,54$	$\geq 2,44$
D	$\geq 2,27$	$\geq 2,35$	$\geq 2,39$	$\geq 2,27$
E	$\geq 2,08$	$\geq 2,16$	$\geq 2,24$	$\geq 2,11$

Fonte: MME, 2013

Tabela 5: Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo *split*, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)
A	$3,20 < CEE$
B	$3,00 < CEE \leq 3,20$
C	$2,80 < CEE \leq 3,00$
D	$2,60 < CEE \leq 2,80$
E	$2,39 \leq CEE \leq 2,60$

Fonte: MME, 2013

Tabela 6: Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.

Coeficiente de eficiência energética (W/W)				
Classes	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
	Capacidade de Refrigeração ≤ 9.000 Btu/h	Capacidade de Refrigeração 9.001 a 13.999 Btu/h	Capacidade de Refrigeração 14.000 a 19.999 Btu/h	Capacidade de Refrigeração ≥ 20.000 Btu/h
	Potência ≤ 2.637 W	Potência 2.637 W a 4.102 W	Potência 4.102 W a 5.860 W	Potência ≥ 5.860 W
A	$\geq 2,93$	$\geq 3,03$	$\geq 2,88$	$\geq 2,82$
B	$\geq 2,84$	$\geq 2,94$	$\geq 2,71$	$\geq 2,65$
C	$\geq 2,76$	$\geq 2,86$	$\geq 2,59$	$\geq 2,48$
D	$\geq 2,68$	$\geq 2,78$	$\geq 2,45$	$\geq 2,30$

Fonte: MME, 2013

Tabela 7: Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar tipo *split*, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)
A	$3,23 < CEE$
B	$3,02 < CEE \leq 3,23$
C	$2,81 < CEE \leq 3,02$
D	$2,60 < CEE \leq 2,81$

Fonte: MME, 2013

Atualmente, o desempenho mínimo exigido no Brasil é de 2,60 W/W para o modelo *split*, porém, produtos com coeficientes inferiores a este valor poderiam ser comercializados no varejo até 31 de dezembro de 2014. O aumento dos níveis mínimos exigidos para sistemas condicionadores desse modelo incita a comercialização de aparelhos mais eficientes no mercado.

Nos aparelhos condicionadores de ar do tipo *split*, objetos deste estudo, as seções de evaporação (unidade interna) e de condensação (unidade externa) são

instaladas separadamente e são conectadas por tubulações de cobre que conduzem o refrigerante entre elas, como apresentado na Figura 15. Além disso, cabos elétricos ligados às unidades controlam o funcionamento do compressor e dos ventiladores. A unidade evaporadora instalada no ambiente condicionado fica posicionada na parede, sobre o piso ou ainda embutida no forro ou em outro local adequado de acordo com seu tipo.

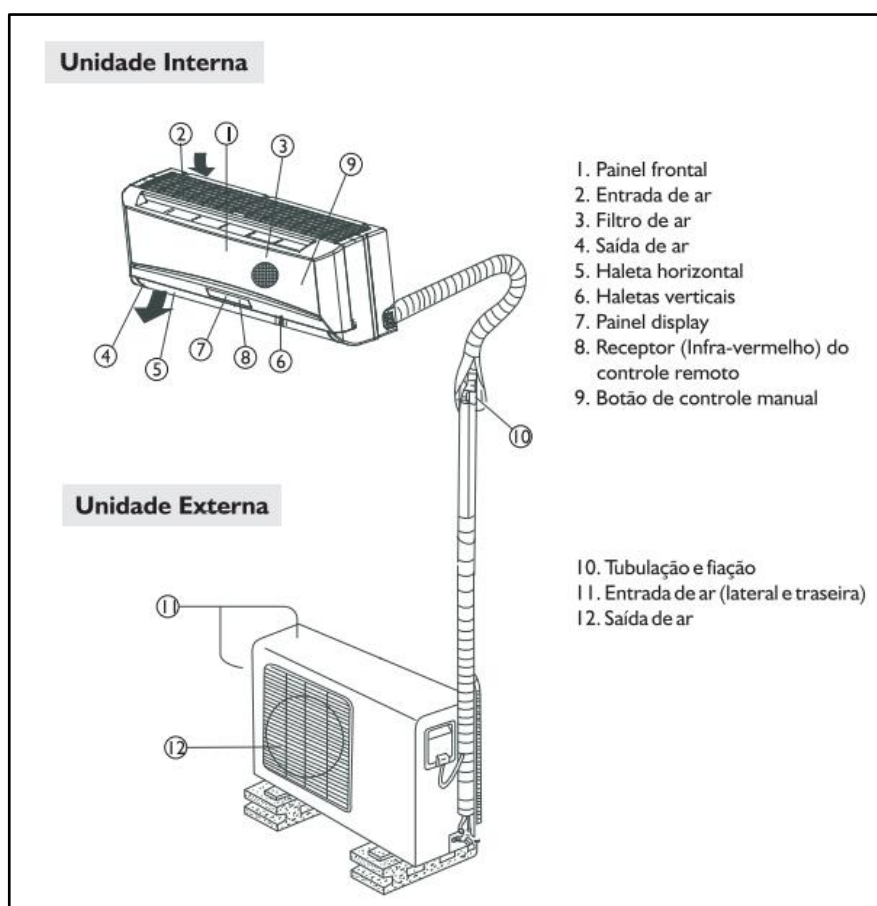


Figura 15: Condicionador de ar do tipo *split*

Fonte: Manual do Usuário, MIDEA

4.2.2.2 Pré-requisito específico para Nível A

Os sistemas de condicionamento de ar possuem pré-requisito apenas para nível de eficiência A. Caso o pré-requisito não seja atendido o nível de eficiência do sistema não poderá ser A e automaticamente declinará para B.

Para obter os níveis de eficiência A, condicionadores de ar do tipo de janela ou unidades condensadoras de condicionadores do tipo *Split* devem estar sombreados permanentemente e com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência (MME,2001). Este pré-requisito deve ser avaliado para cada ambiente atendido pelo sistema de condicionamento de ar.

4.2.2.3 Cálculo de Carga Térmica

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou inserida (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação.

Para aplicação do RTQ-C no que se refere ao sistema de condicionamento de ar, o Regulamento estabelece que os aparelhos estejam adequados com as cargas térmicas dos ambientes. Estas devem ser calculadas de acordo com normas e manuais de engenharia de comprovada aceitação nacional ou internacional.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1980) as cargas térmicas devem ser calculadas individualmente para cada um dos recintos e consideradas as condições máximas existentes em períodos não obrigatoriamente simultâneos. Para o verão devem ser calculadas separadamente as cargas de calor sensível e de calor latente a serem compensadas pelo resfriamento e desumidificação do ar.

Para constituir as bases de cálculo devem ser considerados os elementos de coexistência provável, durante o período de aplicação do processo estabelecido em:

- Condições do ar exterior;
- Natureza da construção das paredes, pisos e tetos; tipos de vidros empregados e temperaturas dos recintos;
- Orientação dos recintos e tipo de proteção existente em relação à radiação solar;
- Possibilidade de infiltração do ar exterior pelas portas e janelas;

- Número de pessoas presentes nos recintos;
- Carga total de energia elétrica, dissipada pela iluminação artificial dos recintos;
- Existência de outras fontes de calor ou de frio, dentro dos recintos, ou possíveis influências de fontes externas.

5 METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA

5.1 DOMUS – PROCEL EDIFICA

Para determinação da eficiência das salas de aula, utilizando-se o método prescritivo, foi escolhido o programa computacional Domus – Procel Edifica. Este é o primeiro *software* brasileiro de auxílio ao desenvolvimento do programa brasileiro de regulamentação de Eficiência Energética em Edificações. Este é um *software* de simulação higratérmica e energética de edificações que fornece perfis de temperatura e umidade nas paredes para qualquer intervalo de tempo, além de apresentar valores de temperatura e umidade relativa para cada zona de uma ou mais edificações, considerando não apenas o transporte de calor, mas, também, de vapor e de líquido através da envoltória da edificação. Pode-se também obter e visualizar a ENCE de acordo com o RTQ-C, tanto pelo método prescritivo quanto pelo método de simulação.

A ferramenta facilita a avaliação para a etiquetagem de edificações públicas, comerciais e de serviços, e permite simulações com variáveis de umidade, calor, consumo e demanda de energia, a fim de proporcionar o máximo de conforto, evitando o desperdício de eletricidade.

Em virtude do enfoque em emissão de etiquetas de eficiência energética para edificações, a Eletrobras investiu R\$ 1,75 milhão no desenvolvimento do Domus através de uma parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), o Ministério de Minas e Energia e o Inmetro. Este foi desenvolvido, principalmente para utilização racional de energia e obtenção de equilíbrio entre Economia, Energia e Meio Ambiente.

O *software* analisa diversos parâmetros, como conforto térmico, risco de crescimento de mofo e dimensionamento de sistemas de climatização. Uma das características deste é sua aplicação didática que possibilita que o projetista determine os ganhos térmicos, evitando o superdimensionamento de um equipamento (PROCEL INFO, 2013).

5.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *campus* Palmas, especificamente nas salas de aula dos blocos 5, 5-A, 7-A e 9, mostradas na Figura 16 e Figura 17.

Foram analisadas 33 (trinta e três) salas de aula, sendo 10 (dez) salas do Bloco 5, 10 (dez) salas do Bloco 5-A, 6 (seis) salas do Bloco 7-A e 7 (sete) salas do Bloco 9. Os dados procedentes destas salas foram inseridos no DOMUS conforme especificações seguintes.

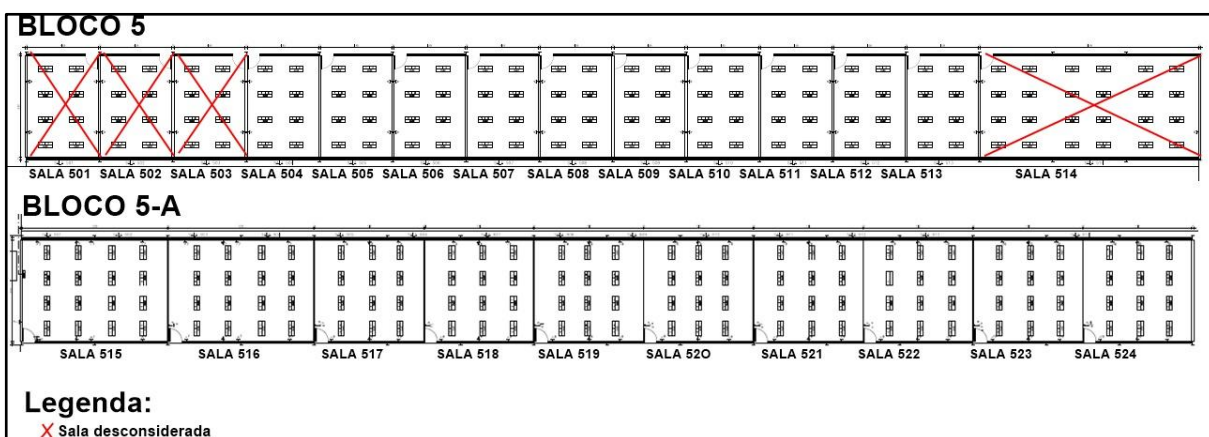


Figura 16: Planta baixa dos Blocos 5 e 5-A

Fonte: Elaboração própria

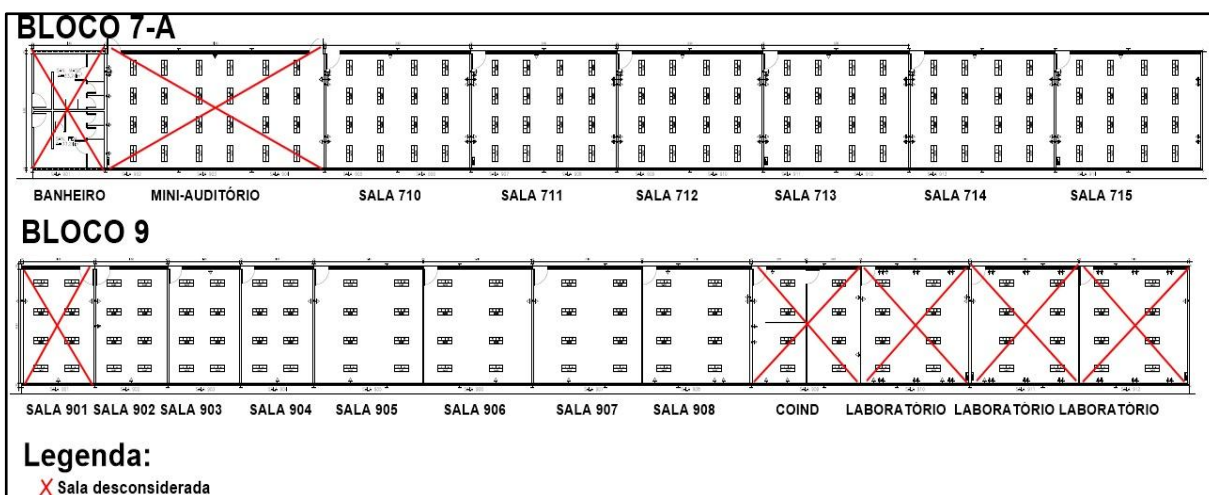


Figura 17: Planta baixa dos Blocos 7-A e 9

Fonte: Elaboração própria

5.2.1 Edificação

Foram desenhadas na interface do Domus as salas de aula, como apresentado na Figura 18, a exemplo do Bloco 9.

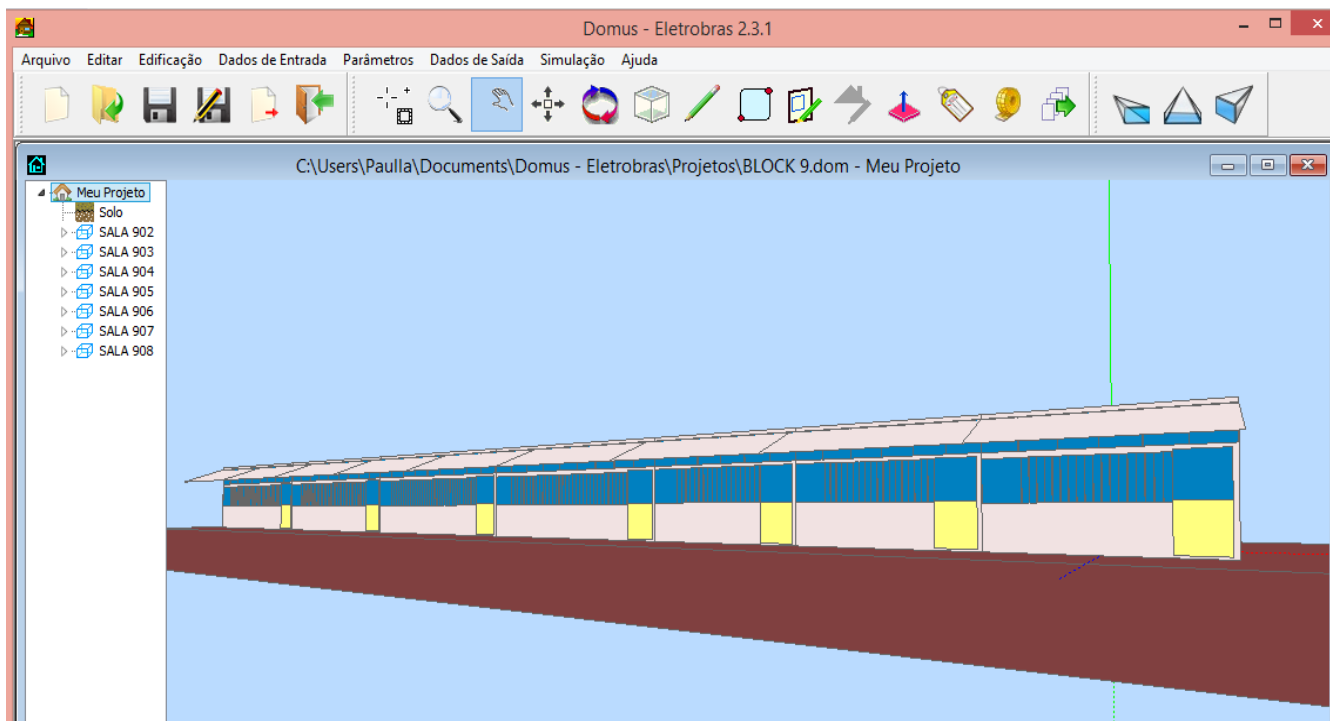


Figura 18: Salas de aula do Bloco 9

Fonte: Domus, 2015

Não é possível representar o telhado no projeto, visto que esta função de desenho está desabilitada na versão utilizada do software, no entanto, é possível inserir os dados de cobertura. Desta forma, foram considerados os materiais descritos na Figura 19, cujas propriedades atendem ao pré-requisito do nível A da envoltória de que a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) de ambientes condicionados artificialmente para ambientes localizados na Zona Bioclimática 7 não deve ultrapassar $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. A absorptância solar máxima para o nível A das coberturas da referida Zona Bioclimática é de 0,50. Portanto, as coberturas das salas avaliadas atendem a este requisito também.

Elem. Construtivos - Cobertura da SALA 902

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
EPS	☒	8.0	☐
Laje mista (12 cm => esp equiv 95 mm)	☒	12.0	☐
Gesso	☒	1.0	☐
Concreto Laje	☒	5.0	☐
Telha de barro (1 cm)	☒	5.0	☒
	☒		☐
	☒		☐
	☒		☐
	☒		☐
	☒		☐

Material +interno (SALA 902)

Transmitância Térmica (W/m²K):	0.42
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	329.90
Fator de Calor Solar (FCS)	0.8
Absortividade Externa (Pintura):	0.50
Emissividade Externa:	0.60
Absortividade Interna (Pintura):	0.50
Emissividade Interna:	0.60

todas as coberturas

Figura 19: Elementos construtivos da cobertura

Fonte: Domus, 2015

Para as janelas, considerou-se o vidro simples, com emissividade de 0,84, com esquadrias de alumínio. Já a porta é constituída de madeira compensada de 2cm de espessura.

As paredes entre as salas foram editadas com os materiais e respectivas espessuras conforme expostos na Figura 20. As informações de transmitância térmica, capacitância térmica, Fator de Calor Solar (FCS), absorptividade externa e interna e emissividade externa e interna da mesma Figura são preenchidas automaticamente pelo Domus, em função dos elementos utilizados. Essas informações são importantes para a simulação termo-energética do Domus que permite conhecer os valores de carga térmica dos ambientes oriundos destes materiais em forma de calor sensível.

As paredes externas foram editadas com os materiais e respectivas espessuras conforme expostos na Figura 21. Como nas paredes entre salas, as

informações de transmitância térmica, capacitância térmica, Fator de Calor Solar (FCS), absorvidade externa e interna e emissividade externa e interna da mesma Figura são preenchidas automaticamente pelo Domus, em função dos elementos utilizados.

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
Gesso		1.5	
Argamassa de Emboco (2.5 cm)		7.0	
Gesso		1.5	
Tijolo de Fachada		1.0	
Tijolo 6 Furos Quadrados (9 cm)		9.0	☒

Material +interno (SALA 902)

Padrões Brasileiros | Modelos personalizados

Transmitância Térmica (W/m²K):	2.11
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	95.53
Fator de Calor Solar (FCS)	4.2
Absortividade Externa (Pintura):	0.50
Emissividade Externa:	0.60
Absortividade Interna (Pintura):	0.50
Emissividade Interna:	0.60

Orientação com o norte (0° - norte, 90° - leste, 180° sul, 270° oeste): 270.00

Aplicar a: todas as fachadas | nesta direção | desta zona

Adicionar/Editar Materiais | Cancelar | Ok

Figura 20: Elementos construtivos das paredes entre salas

Fonte: Domus, 2015

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
Reboco		2.0	
Tijolo 4 Furos Quadrado (9 cm)		9.0	
Argamassa de Emboco (2.5 cm)		2.5	
Tijolo de Fachada		1.0	☒

Material +interno (SALA 902)

Padrões Brasileiros | Modelos personalizados

Transmitância Térmica (W/m²K):	2.66
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	117.80
Fator de Calor Solar (FCS)	5.3
Absortividade Externa (Pintura):	0.50
Emissividade Externa:	0.60
Absortividade Interna (Pintura):	0.50
Emissividade Interna:	0.60

Orientação com o norte (0° - norte, 90° - leste, 180° sul, 270° oeste): 360.00

Aplicar a: todas as fachadas | nesta direção | desta zona

Adicionar/Editar Materiais | Cancelar | Ok

Figura 21: Elementos construtivos das paredes externas

Fonte: Domus, 2015

5.2.2 Dados de entrada

No Domus foram configurados os horários de aula para informação de funcionamento das salas conforme utilização do sistema de iluminação e climatização. Foram considerados três períodos de ocupação, conforme

demonstrados na Figura 22, para o período semanal de segunda a sexta-feira. Estes dados foram aplicados a todas as zonas.

Configura Horários

Período Anual
☐ Normal ☐ Férias 2 ☒ Todos
☐ Férias 1 ☐ Férias 3

Período Semanal
☐ Domingos ☐ 6ª feiras
☐ 2ª feiras ☐ Sábados
☐ 3ª feiras ☒ (2ª a 6ª)
☐ 4ª feira ☐ Feriados
☐ 5ª feiras ☐ Todos

Hora (00:00 -> 23:59)
 Início: 00:00 hh:mm
 Fim: 23:59 hh:mm
☐ Período fixo

Intervalos

P. Anual	P. Semanal	Início	Fim
Ano Todo	2ª a 6ª	07:30	11:50
Ano Todo	2ª a 6ª	13:10	18:00
Ano Todo	2ª a 6ª	18:40	22:50

Adicionar Atualizar Remover

Ok Cancelar

Figura 22: Horários de ocupação de salas de aula
Fonte: DOMUS, 2015.

No que se refere aos ganhos internos, foi considerada a densidade de potência de iluminação (Figura 23) que é a razão entre a potência elétrica das lâmpadas e a área de cada ambiente (W/m^2).

Ganhos Internos

Iluminação

SALA 902 33.47 m² Adicionar Atualizar Remover

Tipo	Quantidade	Pot. Térmica (W/m^2)	Pot. Elétrica (W/m^2)
Iluminação	1	15.30	15.30

Aplicar a Fechar

Figura 23: Ganhos internos decorrentes de iluminação
Fonte: DOMUS, 2015

Já para os ganhos resultantes de ocupação humana (Figura 24) foram consideradas as características individuais de pessoas com base em estimativas de peso e altura dos alunos matriculados nos cursos oferecidos pelo IFTO, *campus* Palmas. Para determinar tais características, consideraram-se estimativas populacionais do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de altura e peso por sexo, segundo a idade e grupos de idade no Tocantins no período de 2008 a 2009. O resultado obtido para massa corpórea foi 59,93 Kg e para altura 1,60 m. Considerou-se o equivalente de atividade física correspondente à atividade realizada no ambiente (estudo).

Desta forma foram adotados os valores de 60W para calor sensível e 80W para calor latente dissipado pelas pessoas. O número máximo de pessoas em cada ambiente foi estipulado pela capacidade de ocupação das salas informada pelo IFTO.

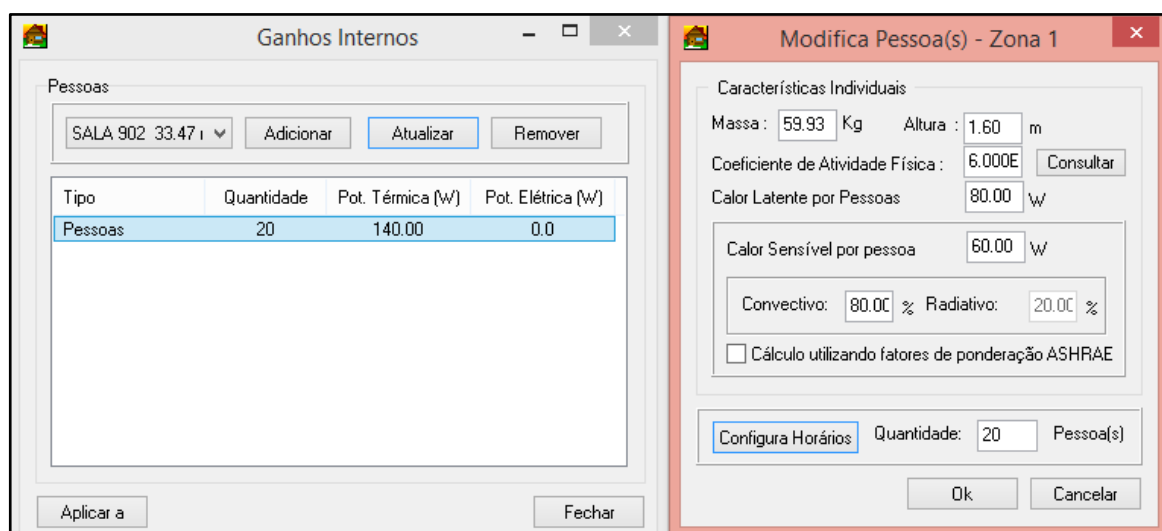


Figura 24: Ganhos internos - Pessoas
Fonte: DOMUS, 2015

Em relação aos condicionadores de ar instalados nas salas de aula, constatou-se que todos os aparelhos são do tipo *Split*, os mesmos são regulamentados pelo Inmetro e possuem eficiência energética conhecida através da ENCE (Figura 25). Além disso, atendem ao pré-requisito do sistema de condicionamento de ar de que as unidades condensadoras de ar dos equipamentos devem estar sombreadas permanentemente (Figura 26).



Figura 25: ENCE do condicionador de ar da Sala 902
Fonte: Arquivo pessoal, 2015



Figura 26: Proteção das unidades condensadoras de ar do Bloco 9
Fonte: Arquivo pessoal, 2015

Para obtenção dos valores de capacidade sensível em cada ambiente, realizou-se uma prévia simulação termo-energética (Figura 27), que considera os ganhos térmicos decorrentes de transmissão de calor através de paredes, portas, piso, janelas, mobílias e teto, além dos ganhos internos devido ao calor gerado por pessoas e iluminação. Foram considerados os valores das condições máximas existentes.

Todas essas informações dos aparelhos de condicionamento de ar foram inseridas no Domus, como exemplificado na Figura 28, para todas as salas analisadas.

Figura 27: Carga térmica da Sala 902

Fonte: Domus, 2015

Figura 28: Informações dos aparelhos condicionadores de ar

Fonte: Domus, 2015

Os procedimentos supracitados foram aplicados a todas as salas, com base nos dados constantes nas Tabelas 8 (Bloco 5), Tabela 9 (Bloco 5-A), Tabela 10 (Bloco 7-A) e Tabela 11 (Bloco 9), coletados *in loco* e informações de ensalamento disponibilizadas pelo IFTO.

Tabela 8: Dados de entrada do Bloco 5

Ambiente	Ganhos Internos			Climatização		
	Iluminação	Pessoas		Condicionamento de Ar		
	Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)	Qtd.	Potência Térmica (W)	Qtd	Capacidade (BTU/h)	Eficiência Energética
Sala 504	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64
Sala 505	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 506	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64
Sala 507	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 508	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64
Sala 509	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64
Sala 510	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 511	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64
Sala 512	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 513	15,30	20	2.800	1	36.000	2,64

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9: Dados de entrada do Bloco 5-A

Ambiente	Ganhos Internos			Climatização		
	Iluminação	Pessoas		Condicionamento de Ar		
	Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)	Qtd.	Potência Térmica (W)	Qtd	Capacidade (BTU/h)	Eficiência Energética
Sala 515	14,99	45	6.300	2	22.000	3,31
Sala 516	14,99	45	6.300	2	24.000	3,21
Sala 517	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 518	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 519	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 520	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 521	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 522	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 523	15,04	35	4.900	2	24.000	3,21
Sala 524	15,04	35	4.900	2	29.000	3,36

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10: Dados de entrada do Bloco 7-A

Ambiente	Ganhos Internos			Climatização		
	Iluminação	Pessoas		Condicionamento de Ar		
	Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)	Qtd.	Potência Térmica (W)	Qtd	Capacidade (BTU/h)	Eficiência Energética
Sala 710	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81
Sala 711	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81
Sala 712	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81
Sala 713	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81
Sala 714	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81
Sala 715	15,06	45	6.300	2	36.000	2,81

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11: Dados de entrada do Bloco 9

Ambiente	Ganhos Internos			Climatização		
	Iluminação	Pessoas		Condicionamento de Ar		
	Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)	Qtd.	Potência Térmica (W)	Qtd	Capacidade (BTU/h)	Eficiência Energética
Sala 902	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 903	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 904	15,30	20	2.800	1	22.000	3,31
Sala 905	10,02	35	4.900	2	24.000	2,91
Sala 906	10,02	35	4.900	2	24.000	2,91
Sala 907	10,02	35	4.900	2	24.000	2,91
Sala 908	10,02	35	4.900	2	24.000	2,91

Fonte: Elaboração própria

Após demonstração dos principais fatores considerados no escopo da simulação termo-energética, o capítulo seguinte apresentará os principais resultados alcançados.

Demais informações sobre a utilização do programa computacional Domus estão disponíveis no Manual do Usuário.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar e envoltória das salas de aula do IFTO *Campus* Palmas seguiu as especificações do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e os esclarecimentos contidos no manual para aplicação do mesmo.

Referente à envoltória da edificação, os cálculos realizados pelo Domus com a utilização do método prescritivo determinou que este sistema é eficiente, tendo alcançado o nível A de eficiência conforme os requisitos do RTQ-C. Portanto, a envoltória não compromete o desempenho energético da edificação com perdas significativas que poderiam ser causadas pelo não atendimento de tais requisitos.

Do estudo realizado e das verificações feitas *in loco* constatou-se que para o sistema de condicionamento de ar todos os aparelhos atendem ao pré-requisito estabelecido pelo RTQ-C.

6.1 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR E RESULTADOS DO CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DOS AMBIENTES

Na avaliação de cada recinto verificou-se que há ambientes com equipamentos de mesma capacidade e classificação, e de capacidades e classificações diferentes. Embora algumas salas tenham características semelhantes (área, iluminação e capacidade de ocupação por pessoas), não se seguiu um padrão para a aquisição dos equipamentos.

Neste tópico são apresentadas as classificações do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar por blocos de salas de aula e os resultados da carga térmica destas de acordo com os cálculos realizados pelo Domus decorrentes dos ganhos térmicos oriundos dos elementos construtivos da edificação, iluminação, ocupação de pessoas e demais fatores apresentados no tópico 4.2.2.3 Cálculo de carga térmica. Ressalta-se que além do conhecimento do nível de eficiência utilizado na edificação, o sistema deve atender à demanda de capacidade de refrigeração de acordo com a carga térmica prevista em cada recinto.

6.1.1 Resultados e análises do Bloco 5

Como exemplo da não padronização na aquisição dos aparelhos, embora as salas do Bloco 5 sejam análogas em suas características construtivas e de ocupação, das 10 (dez) salas avaliadas 50% possuem aparelhos com capacidade de refrigeração de 36.000 Btu/h e nível de eficiência energética D, enquanto 50% das salas possuem aparelhos com capacidade de 22.000 Btu/h e nível de eficiência A. Da ponderação dos níveis de eficiência por sala, a classificação final deste bloco resultou em nível C de eficiência energética, conforme informações contidas na Figura 29 e Tabela 12.

The screenshot shows the RTQ-C software interface. The 'Prescritivo' tab is active, displaying a table of rooms (Ambientes) and a table of equipment (Equipamentos).

Ambientes			Equipamentos										
	Nome	Área (m²)	Classif.	Tipo de Equipamento	Atende aos Pré-Requ.	Regul. Inmetro	Tipo de Aquecimento	Potência (kW)	COP (W/W)	Classif.	Equiv. Num.	Coef. Pond.	Result. Pond.
☒	SALA 504	33.46	D	SPLIT	SIM	SIM	NENHUM	10.551	2.642	D	2	1	2
☒	SALA 505	33.49	A										
☒	SALA 506	33.56	D										
☒	SALA 507	33.45	A										
☒	SALA 508	33.44	D										
☒	SALA 509	33.43	D										
☒	SALA 510	33.49	A										
☒	SALA 511	33.49	A										
☒	SALA 512	33.38	D										
☒	SALA 513	33.56	A										

At the bottom of the interface, the 'Classificação Geral' section is highlighted with a red box. It contains a 'Calcular' button and the final classification 'C'.

Figura 29: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5

Fonte: Domus, 2015

Tabela 12: Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5.

AMBIENTE	CAPACIDADE INSTALADA	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE	EQUIVALENTE NUMÉRICO	RESULTADO PONDERADO	CLASSIFICAÇÃO FINAL
504	36.000	0,12414	D	2	0,24828	C
505	22.000	0,07586	A	5	0,37931	
506	36.000	0,12414	D	2	0,24828	
507	22.000	0,07586	A	5	0,37931	
508	36.000	0,12414	D	2	0,24828	
509	36.000	0,12414	D	2	0,24828	
510	22.000	0,07586	A	5	0,37931	
511	22.000	0,07586	A	5	0,37931	
512	36.000	0,12414	D	2	0,24828	
513	22.000	0,07586	A	5	0,37931	
Capacidade Total:	290.000	Classificação Final: 3,13				

Fonte: Elaboração própria

Para a Sala 504 (similar às salas 506, 508, 509 e 512), a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 19.784,30 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a aproximadamente 45% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem a aproximadamente 25% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 30.

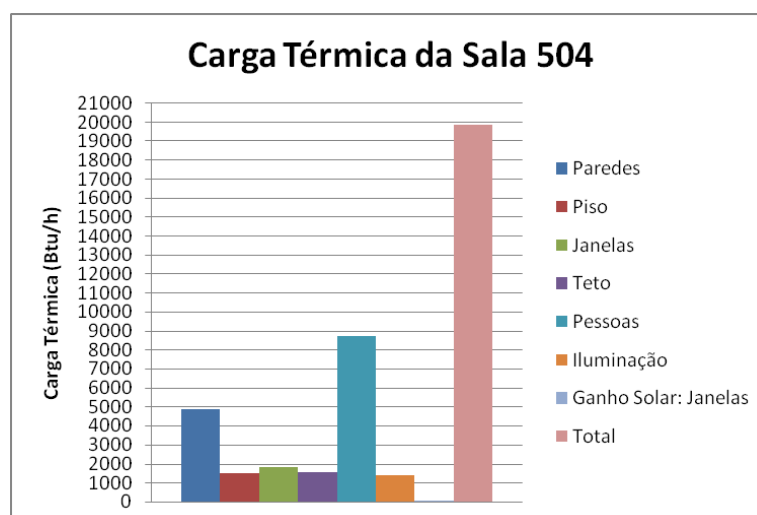


Figura 30: Carga térmica prevista – Sala 504

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala e nas demais salas análogas os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 36.000 Btu/h. Verifica-se então que estes estão superdimensionados, com diferença entre a capacidade de refrigeração e a capacidade demandada no recinto de 16.215,70 Btu/h. Diante de tal resultado, é recomendável que estes aparelhos sejam substituídos por equipamentos de menor capacidade e de maior eficiência, visto que os mesmos possuem classificação D.

Para a Sala 505 (similar às salas 507, 510, 511 e 513) a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 18.036,70 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas (48%) e às paredes (25%). Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 31.

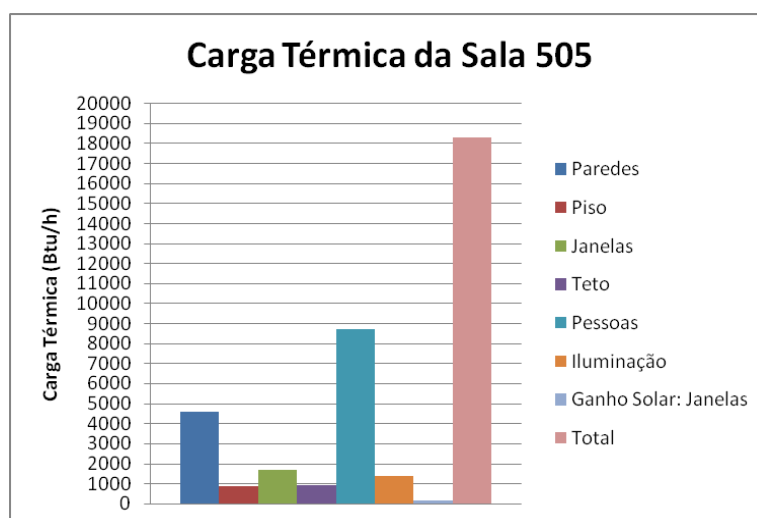


Figura 31: Carga térmica prevista – Sala 505

Fonte: Elaboração Própria

Nessa sala e nas demais salas similares no referido Bloco os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 22.000 Btu/h. Portanto, estes estão dimensionados corretamente em relação à carga térmica do recinto.

Os valores de capacidade instalada e de carga térmica por ambiente do Bloco 5 estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 5

AMBIENTE	QTD	CAPACIDADE (BTU/H)	CAPACIDADE INSTALADA (BTU/H)	CARGA TÉRMICA (BTU/H)	DIFERENÇA
504	1	36.000	36.000	19.784,30	16.215,70
505	1	22.000	22.000	18.036,70	3.963,30
506	1	36.000	36.000	19.784,30	16.215,70
507	1	22.000	22.000	18.036,70	3.963,30
508	1	36.000	36.000	19.784,30	16.215,70
509	1	36.000	36.000	19.784,30	16.215,70
510	1	22.000	22.000	18.036,70	3.963,30
511	1	22.000	22.000	18.036,70	3.963,30
512	1	36.000	36.000	19.784,30	16.215,70
513	1	22.000	22.000	18.036,70	3.963,30

Fonte: Elaboração própria

Em relação ao nível de eficiência do Bloco 5, conclui-se que é possível otimizar o sistema através da substituição de aparelhos cuja classificação é D por equipamentos com classificação A. Além disso, verificou-se que 50% dos aparelhos estão superdimensionados e os demais estão dimensionados corretamente em relação à capacidade de refrigeração dos aparelhos instalados.

6.1.2 Análises e resultados do Bloco 5-A

Todas as salas de aula avaliadas no Bloco 5-A possuem equipamentos com classificação de eficiência A. Em relação à capacidade de refrigeração, 8 (oito) salas são atendidas por aparelhos com capacidade de 24.000 Btu/h, 1 (uma) sala com equipamentos de 22.000 Btu/h e 1 (uma) sala possui aparelhos de 29.000 Btu/h. Além disso, de todos os aparelhos analisados, os da Sala 524 possuem o maior coeficiente de eficiência energética (3,36) dos aparelhos instalados nas salas de aula. O resultado da classificação geral deste bloco está expresso na Figura 32 e Tabela 14.

RTQ-C

Prescritivo Bonificações Etiqueta

Envoltória Iluminação Condicionamento de Ar

Ambientes			Equipamentos										
	Nome	Área (m²)	Classif.	Tipo de Equipamento	Atende aos Pré-Requ.	Regul. Inmetro	Tipo de Aquecimento	Potência (kW)	COP (W/W)	Classif.	Equiv. Num.	Coef. Pond.	Result. Pond.
☒	SALA 515	51.06	A	SPLIT	SIM	SIM	NENHUM	6.448	3.312	A	5	1	5
☒	SALA 516	55.15	A										
☒	SALA 517	55.15	A										
☒	SALA 518	55.16	A										
☒	SALA 519	55.14	A										
☒	SALA 520	55.16	A										
☒	SALA 521	55.14	A										
☒	SALA 522	55.09	A										
☒	SALA 523	73.59	A										
☒	SALA 524	73.17	A										

Classificação Geral:

Calcular A

PROCEL EDIFICA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Eletrobras

Figura 32: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A

Fonte: Domus, 2015

Tabela 14: Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A

AMBIENTE	CAPACIDADE INSTALADA	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE	EQUIVALENT E NUMÉRICO	RESULTADO PONDERADO	CLASSIFICAÇÃO FINAL
515	44.000	0,09053	A	5	0,45267	A
516	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
517	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
518	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
519	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
520	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
521	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
522	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
523	48.000	0,09877	A	5	0,49383	
524	58.000	0,11934	A	5	0,59671	
Capacidade Total:	486.000	Classificação Final: 5				

Fonte: Elaboração própria

Para a Sala 515 a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 37.222,2 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 52% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem à aproximadamente 15% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 33.

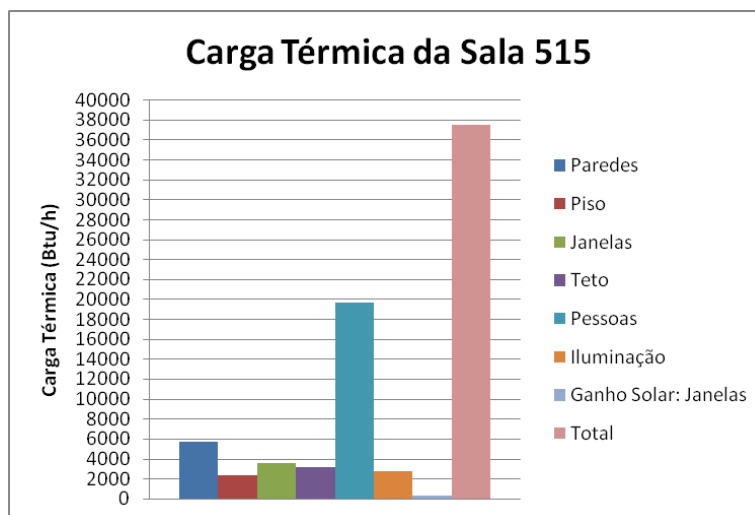


Figura 33: Carga térmica prevista – Sala 515

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 22.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é 44.000 Btu/h, que em relação à carga térmica prevista possui diferença de apenas 6.777,80 Btu/h. Portanto, estes estão adequadamente dimensionados em relação à carga térmica prevista no recinto.

Para a Sala 516 a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 36.904,1 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 52% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem à aproximadamente 15% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 34.

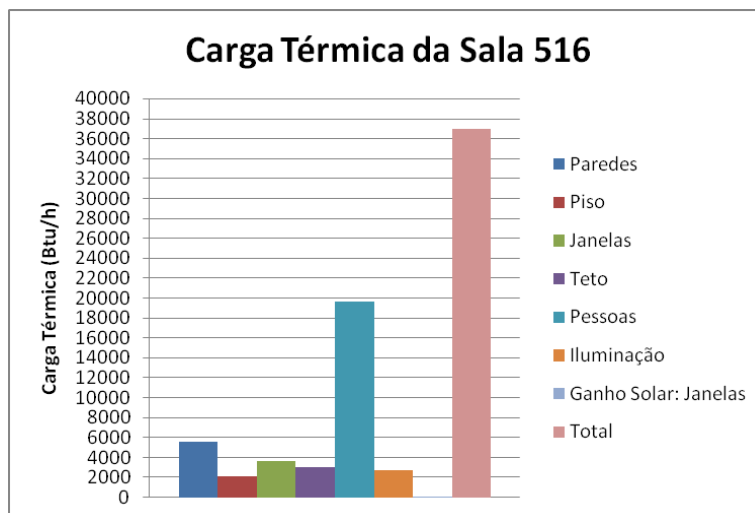


Figura 34: Carga térmica prevista – Sala 516

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 24.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é de 48.000 Btu/h, que em relação à carga térmica prevista possui diferença de 11.095,90 Btu/h. Portanto, estes estão adequadamente dimensionados em relação à carga térmica prevista.

Para a Sala 517 (similar às salas 518, 519, 520, 521, 522 e 523) a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 26.986,9 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 53% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem à aproximadamente 18% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 35.

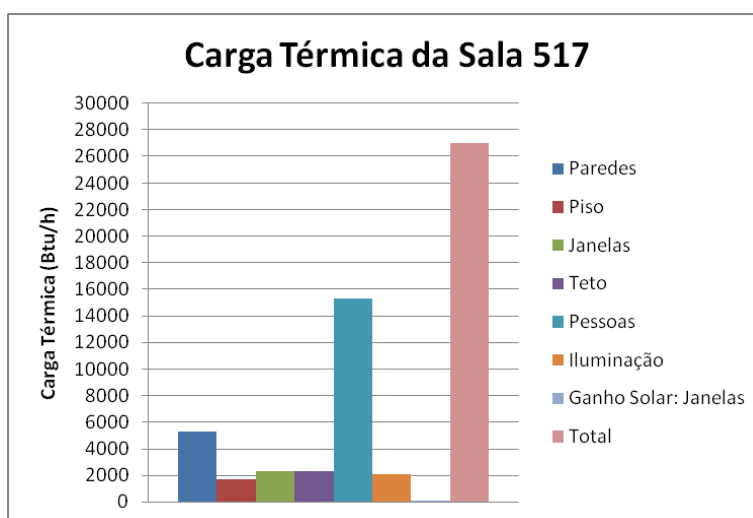


Figura 35: Carga térmica prevista – Sala 517

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 24.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é de 48.000 Btu/h, que em relação à carga térmica prevista possui diferença de 21.013,10 Btu/h. Portanto, estes estão superdimensionados em relação à carga térmica do recinto.

Para a Sala 524 a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 27.819,3 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 55% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem à 19% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 36.

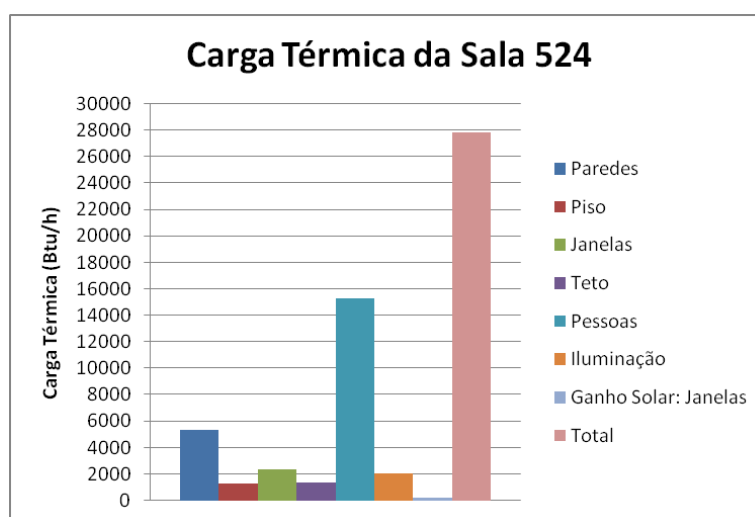


Figura 36: Carga térmica prevista – Sala 524

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 29.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é de 58.000 Btu/h, que em relação à carga térmica prevista possui diferença de 30.180,70 Btu/h. A utilização de apenas um dos aparelhos instalados na sala é suficiente para atender a demanda de capacidade de refrigeração. Portanto, diante do resultado de carga térmica prevista é recomendável a desinstalação de um dos equipamentos, visto que estes são utilizados simultaneamente, não havendo necessidade de tal utilização.

Os valores de capacidade instalada e de carga térmica por ambiente do Bloco 5-A estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 5-A

AMBIENTE	QTD	CAPACIDADE (BTU/H)	CAPACIDADE INSTALADA (BTU/H)	CARGA TÉRMICA (BTU/H)	DIFERENÇA
515	2	22.000	44.000,00	37.222,20	6.777,80
516	2	24.000	48.000,00	36.904,10	11.095,90
517	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
518	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
519	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
520	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
521	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
522	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
523	2	24.000	48.000,00	26.986,90	21.013,10
524	2	29.000	58.000,00	27.819,30	30.180,70

Fonte: Elaboração própria

Referente ao nível de eficiência do Bloco 5-A constatou-se que este é o mais eficiente da edificação. No entanto, no que diz respeito à carga térmica instalada, este possui parcela significativa de aparelhos superdimensionados em relação à carga térmica máxima prevista e isto ocasiona desperdícios.

6.1.3 Análises e resultados do Bloco 7-A

No Bloco 7-A houve padronização na instalação dos condicionadores de ar. Cada sala possui dois equipamentos com capacidade de refrigeração de 36.000 Btu/h. Estes possuem classificação C, portanto a classificação geral deste bloco resultou em C, conforme dados apresentados na Figura 37 e Tabela 16.

RTQ-C

Prescritivo | Bonificações | Etiqueta

Envoltória | Iluminação | Condicionamento de Ar

Ambientes				Equipamentos									
	Nome	Área (m²)	Classif.	Tipo de Equipamento	Atende aos Pré-Requ.	Regul. Inmetro	Tipo de Aquecimento	Potência (kW)	COP (W/W)	Classif.	Equiv. Num.	Coef. Pond.	Result. Pond.
☒	SALA 710	67.96	C	SPLIT	SIM	SIM	NENHUM	10.551	2.812	C	3	1	3
☒	SALA 711	67.93	C										
☒	SALA 712	67.93	C										
☒	SALA 713	67.94	C										
☒	SALA 714	67.96	C										
☒	SALA 715	68.03	C										

Classificação Geral: **C**

PROCELEDFICA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Eletrobras

Figura 37: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A

Fonte: Domus, 2015

Tabela 16: Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A.

AMBIENTE	CAPACIDADE INSTALADA	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE	EQUIVALENTE NUMÉRICO	RESULTADO PONDERADO	CLASSIFICAÇÃO FINAL
710	72.000	0,16667	C	3	0,50000	C
711	72.000	0,16667	C	3	0,50000	
712	72.000	0,16667	C	3	0,50000	
713	72.000	0,16667	C	3	0,50000	
714	72.000	0,16667	C	3	0,50000	
715	72.000	0,16667	C	3	0,50000	
Capacidade Total:	432.000					Classificação Final: 3

Fonte: Elaboração própria

Para a Sala 710 (análoga às demais salas de aula do Bloco 7-A) a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 33.712,4 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 58% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem a 16% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 38.

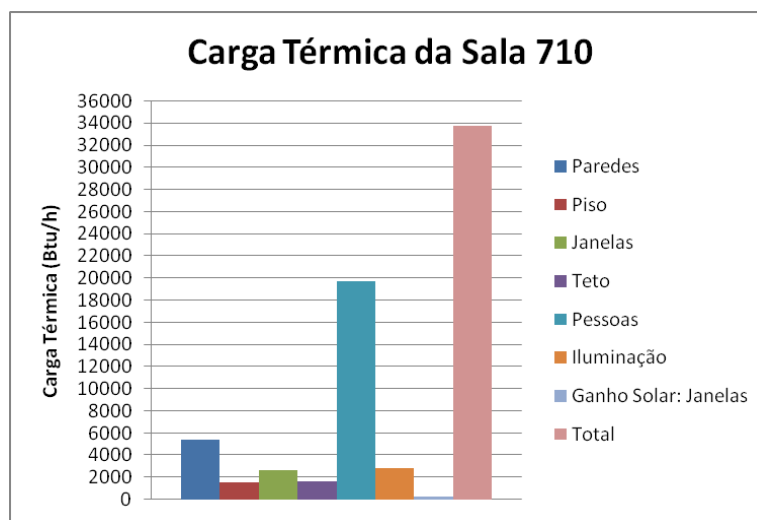


Figura 38: Carga térmica prevista – Sala 710

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 36.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é de 72.000 Btu/h, que em relação à carga térmica prevista possui diferença de 38.287,60 Btu/h. A utilização de apenas um dos aparelhos instalados na sala é suficiente para atender a demanda de capacidade de refrigeração. De acordo com os resultados obtidos, é recomendável a desinstalação de um dos equipamentos de cada sala, visto que estes são utilizados simultaneamente, não havendo necessidade de tal utilização.

Os valores de capacidade instalada e de carga térmica por ambiente do Bloco 7-A estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 7-A

AMBIENTE	QTD	CAPACIDADE (BTU/H)	CAPACIDADE INSTALADA (BTU/H)	CARGA TÉRMICA (BTU/H)	DIFERENÇA
710	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60
711	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60
712	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60
713	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60
714	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60
715	2	36.000	72.000,00	33.712,40	38.287,60

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito ao nível de eficiência do Bloco 7-A, o sistema de condicionamento de ar pode ser otimizado através da substituição de aparelhos cuja classificação é C por equipamentos com classificação A. Referente à carga térmica dos ambientes avaliados, cada sala possui um aparelho superdimensionado instalado.

6.1.4 Análises e resultados do Bloco 9

O Bloco 9 possui 3 (três) salas atendidas por equipamentos de 22.000 Btu/h e nível de eficiência A. Estas salas possuem mesma área e mesma capacidade de ocupação de pessoas. Enquanto as demais salas são atendidas por equipamentos de 24.000 Btu/h e nível de eficiência C. Da ponderação dos níveis de eficiência por sala, a classificação final deste bloco resultou em nível B de eficiência energética, conforme a Figura 39 e Tabela 18.

The screenshot shows the RTQ-C software interface. The 'Classificação Geral' (General Classification) window is open, displaying a table of environments (Ambientes) and equipment (Equipamentos). The 'Classificação Geral' section at the bottom shows a 'Calcular' button and a result of 'B'.

Ambientes			Equipamentos										
	Nome	Área (m²)	Classif.	Tipo de Equipamento	Atende aos Pré-Req.	Regul. Inmetro	Tipo de Aquecimento	Potência (kW)	COP (W/W)	Classif.	Equiv. Num.	Coef. Pond.	Result. Pond.
☒	SALA 902	33.46	A	SPLIT	SIM	SIM	NENHUM	6.448	3.312	A	5	1	5
☒	SALA 903	33.43	A										
☒	SALA 904	33.44	A										
☒	SALA 905	51.03	C										
☒	SALA 906	51.03	C										
☒	SALA 907	51.03	C										
☒	SALA 908	51.04	C										

Classificação Geral:

Calcular B

Figura 39: Classificação geral do sistema de condicionamento de ar do Bloco 9

Fonte: Domus, 2015

Tabela 18: Cálculo da ponderação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco 9

AMBIENTE	CAPACIDADE INSTALADA	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE	EQUIVALENTE NUMÉRICO	RESULTADO PONDERADO	CLASSIFICAÇÃO FINAL
902	22.000	0,08527	A	5	0,42636	B
903	22.000	0,08527	A	5	0,42636	
904	22.000	0,08527	A	5	0,42636	
905	48.000	0,18605	C	3	0,55814	
906	48.000	0,18605	C	3	0,55814	
907	48.000	0,18605	C	3	0,55814	
908	48.000	0,18605	C	3	0,55814	
Capacidade Total:	258.000				Classificação Final: 3,51	

Fonte: Elaboração própria

Para a Sala 902 (análoga às salas 903 e 904) a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 18.036,70 Btu/h, sendo o maior

ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 48% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem a 25% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 40.

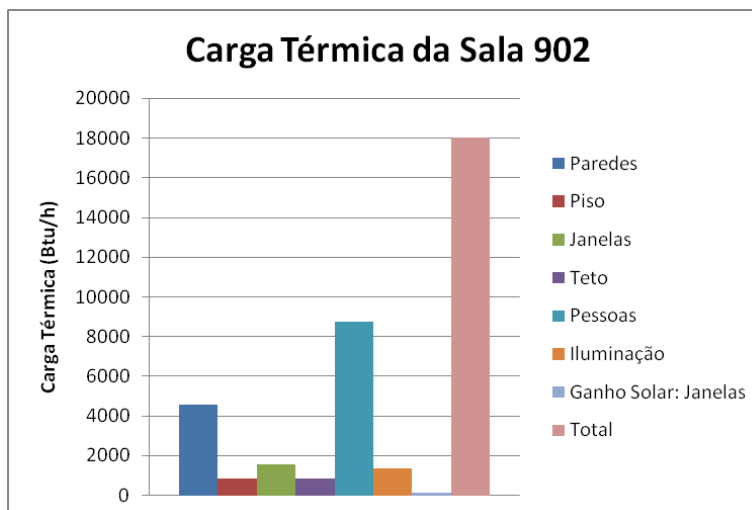


Figura 40: Carga térmica prevista – Sala 902

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala o aparelho instalado possui capacidade de refrigeração de 22.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada em relação à carga térmica prevista possui diferença de apenas 3.963,30 Btu/h. Portanto, este está dimensionado corretamente.

Para a Sala 905 (análoga às salas 906, 907 e 908) a carga térmica total prevista em condições máximas de transmissão de calor é 29.616,70 Btu/h, sendo o maior ganho de calor devido à ocupação de pessoas, o que corresponde a 52% da carga térmica do recinto. Já as paredes correspondem a 20% da referida carga. Os demais ganhos estão demonstrados no gráfico da Figura 41.

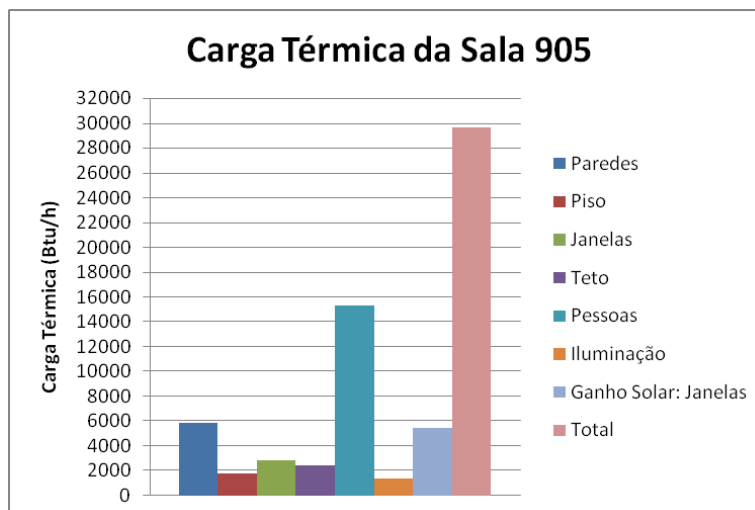


Figura 41: Carga térmica prevista – Sala 905

Fonte: Elaboração própria

Nessa sala os aparelhos instalados possuem capacidade de refrigeração de 24.000 Btu/h. A capacidade de refrigeração instalada é 48.000 Btu/h que em relação à carga térmica prevista possui diferença 18.383,30 Btu/h. Portanto, o sistema de condicionamento de ar desta sala está superdimensionado.

Os valores de capacidade instalada e de carga térmica por ambiente estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Sistema de condicionamento de ar do Bloco 9

AMBIENTE	QTD	CAPACIDADE (BTU/H)	CAPACIDADE INSTALADA (BTU/H)	CARGA TÉRMICA (BTU/H)	DIFERENÇA
902	1	22.000	22.000,00	18.036,70	3.963,30
903	1	22.000	22.000,00	18.036,70	3.963,30
904	1	22.000	22.000,00	18.036,70	3.963,30
905	2	24.000	48.000,00	29.616,70	18.383,30
906	2	24.000	48.000,00	29.616,70	18.383,30
907	2	24.000	48.000,00	29.616,70	18.383,30
908	2	24.000	48.000,00	29.616,70	18.383,30

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito ao nível de eficiência do Bloco 9, o sistema de condicionamento de ar pode ser otimizado através da substituição de aparelhos cuja classificação é D por equipamentos com classificação A. Referente à carga térmica

dos ambientes avaliados, 3 (três) salas estão dimensionadas corretamente enquanto 4 (quatro) salas possuem o sistema superdimensionado.

6.2 ENCES OBTIDAS NA AVALIAÇÃO DAS SALAS DE AULA DO IFTO

A avaliação das salas de aula do IFTO *Campus* Palmas por meio do método prescritivo do Domus resultou na representação do nível de eficiência energética evidenciada por meio das ENCEs parciais dos Blocos 5, 5-A, 7-A e 9 expressas nas Figuras 42, 43, 44 e 45, respectivamente. Embora a emissão das etiquetas seja feita apenas pelos órgãos acreditados pelo Inmetro, o presente estudo, baseado no regulamento de etiquetagem de edificações vigente no Brasil, permitiu verificar o atendimento dos requisitos técnicos que garantem a qualidade e eficiência dos sistemas avaliados.



Figura 42: Ence Parcial – Bloco 5

Fonte: Domus, 2015

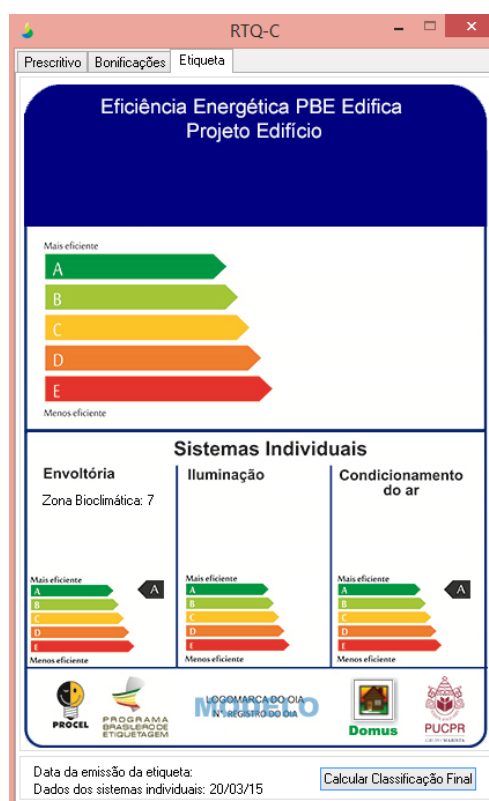


Figura 43: Ence Parcial- Bloco 5-A

Fonte: Domus, 2015



Figura 44: Ence Parcial – Bloco 7-A

Fonte: Domus, 2015

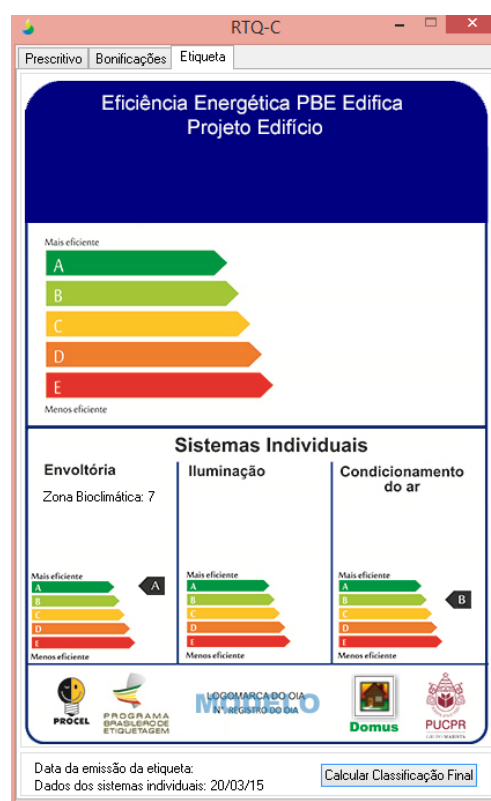


Figura 45: Ence Parcial- Bloco 9

Fonte: Domus, 2015

A representação de etiquetagem nos blocos de salas avaliados permitiu diagnosticar potenciais de efficientização e redução do consumo de energia elétrica que serão apresentados no tópico seguinte.

6.3 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Da avaliação realizada nas salas de aula é possível verificar que o sistema de condicionamento de ar pode ser otimizado através da troca de equipamentos obsoletos por equipamentos mais eficientes. Para sustentar essa alternativa, foram realizadas simulações de consumo no Domus considerando o sistema atual dos equipamentos com níveis de eficiência inferiores a A e outras simulações com alteração do coeficiente de eficiência energética para 3,23 (coeficiente estabelecido pelo Inmetro para aparelhos *split* obterem classificação A).

- Bloco 5

As salas de aula 504, 506, 508, 509 e 512 possuem aparelhos cuja classificação de eficiência energética é D. Ao considerar a substituição destes aparelhos por equipamentos de classificação A, obtém-se aproximadamente 18% de racionamento do consumo de energia elétrica. Conforme o gráfico da Figura 46, o maior consumo de energia elétrica decorrente do sistema de condicionamento de ar é em setembro, em que o aparelho de classificação D da Sala 505 consome 539,25 kWh enquanto o de classificação A consumiria 440,75 kWh.

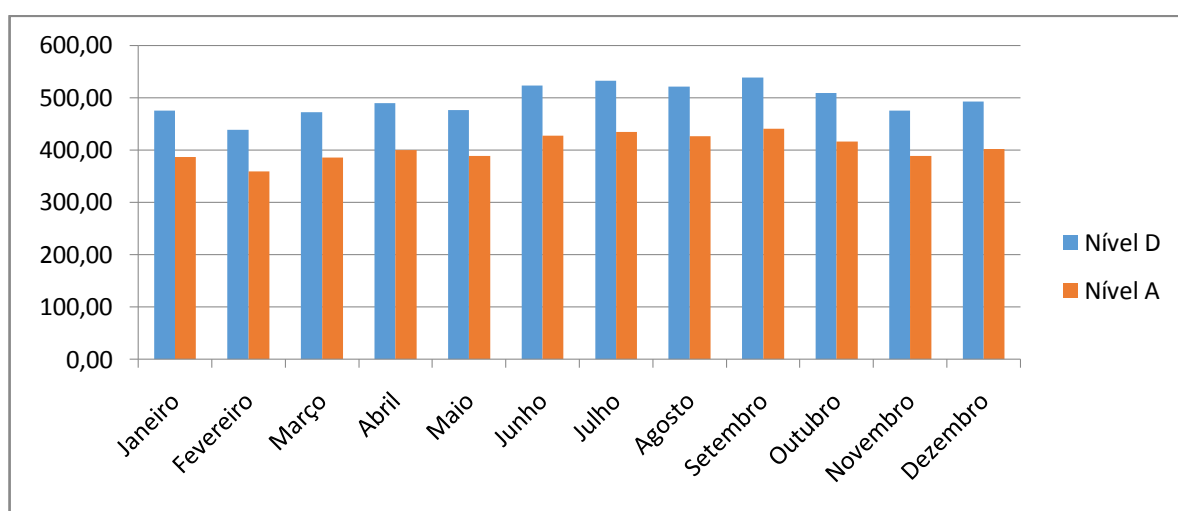


Figura 46: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado - Sala 505

Fonte: Elaboração própria

Portanto, em um ano a economia decorrente da substituição dos aparelhos de todas as salas supracitadas seria de 5.440,4 kWh.

- Bloco 7-A

As salas de aula 710, 711, 712, 713, 714 e 715 possuem aparelhos cuja classificação de eficiência energética é C. Ao considerar a substituição destes aparelhos por equipamentos de classificação A, obtém-se aproximadamente 13% de racionamento do consumo de energia elétrica. Conforme o gráfico da Figura

47, o maior consumo de energia elétrica decorrente do sistema de condicionamento de ar é em setembro, em que os aparelhos de classificação C da Sala 710 consomem 973,05 kWh enquanto os de classificação A consumiriam 846,56 kWh.

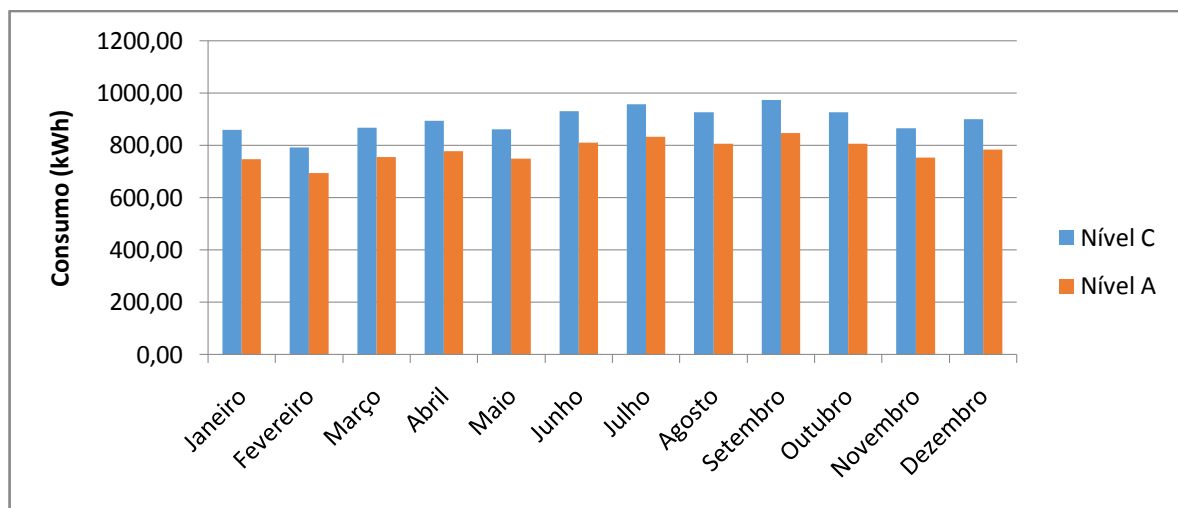


Figura 47: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado - Sala 710

Fonte: Elaboração própria

Portanto, em um ano a economia decorrente da substituição dos aparelhos de todas as salas supracitadas seria de 8.354,04 kWh. Vale ressaltar que nesse bloco todas as salas possuem sistemas superdimensionados, então se houvesse a desinstalação de um dos equipamentos em cada sala do referido bloco o consumo seria reduzido em 50% (alterando-se apenas a capacidade térmica de refrigeração do ambiente e não o nível de eficiência).

- Bloco 9

As salas de aula 905, 906, 907 e 908 possuem aparelhos cuja classificação de eficiência energética é C. Ao considerar a substituição destes aparelhos por equipamentos de classificação A, obtém-se aproximadamente 10% de racionamento do consumo de energia elétrica. Conforme o gráfico da Figura 48, o maior consumo de energia elétrica decorrente do sistema de

condicionamento de ar é em setembro, em que os aparelhos de classificação C da Sala 905 consomem 653,24 kWh enquanto os de classificação A consumiriam 588,52 kWh.

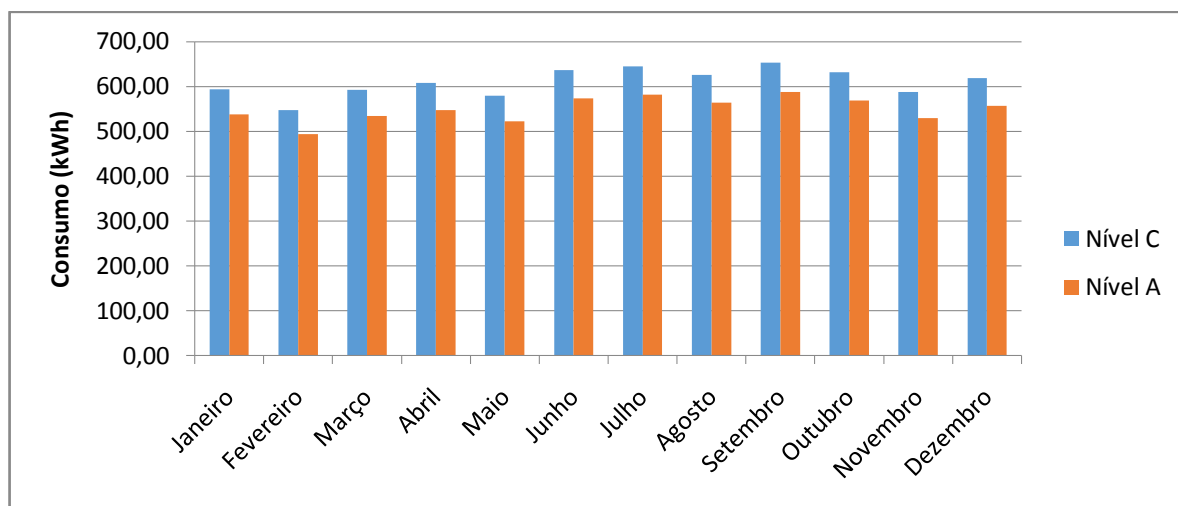


Figura 48: Comparação entre o consumo do sistema atual e do sistema otimizado – Sala 905

Fonte: Elaboração própria

Portanto, em um ano a economia decorrente da substituição dos aparelhos de todas as salas supracitadas seria de 2.894,48 kWh.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o nível de eficiência da envoltória e do sistema de condicionamento de ar a fim de obter etiquetas ilustrativas de eficiência energética em salas de aula do IFTO - *campus* Palmas, através da aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Também foi verificado o dimensionamento da carga térmica nos ambientes. Todas as modelagens, simulações e resultados foram realizados utilizando o *software* Domus.

O resultado do nível de eficiência obtido na avaliação da envoltória foi nível A. No que concerne à análise do sistema de condicionamento de ar os resultados obtidos foram de nível de eficiência A para o Bloco 5-A, nível de eficiência B para o Bloco 9 e nível C para o Bloco 5 e Bloco 7-A. Isto posto, foram obtidas as ENCEs parciais ilustrativas para os blocos de salas de aula supracitados.

Em relação ao dimensionamento dos aparelhos condicionadores de ar, verificou-se que a maioria dos ambientes possui sistema de condicionamento de ar com capacidade de refrigeração muito acima da carga térmica prevista. Verificou-se também através do estudo que é possível otimizar o sistema de condicionamento de ar através da troca de equipamentos obsoletos por equipamentos mais eficientes a fim de atender o dimensionamento de carga térmica do ambiente.

Se a proposta de otimização do sistema de condicionamento de ar apresentada no Capítulo 6 for aplicada, haverá significativa economia de energia na instituição avaliada. Conforme resultados das simulações de consumo, a economia decorrente da substituição dos aparelhos das salas de aula do Bloco 5 seria de 5.440,4 kWh em um ano. Já no Bloco 7-A haveria economia de 8.354,04 kWh e no Bloco 9 economizaria 2.894,48 kWh. Estes resultados evidenciam o potencial de conservação de energia no IFTO *campus* Palmas.

Dessa forma, acredita-se que os objetivos desse trabalho tenham sido atingidos e espera-se que os resultados alcançados possam incentivar a instituição de ensino avaliada a implantar medidas de eficiência energética com vista ao desempenho econômico.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho aplicou-se o método prescritivo do RTQ-C para obter os resultados da avaliação do sistema de condicionamento de ar e envoltória do IFTO *campus* Palmas. Uma sugestão para estudos futuros seria realizar todas as análises aplicando-se o método de simulação estabelecido pelo RTQ-C.

Além disso, pode-se também considerar o sistema de iluminação em avaliações futuras.

Sugere-se ainda realizar uma avaliação do conforto térmico a fim de verificar se as condições térmicas são compatíveis ao conforto humano nas salas de aula avaliadas.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Parte 1: Projeto das Instalações. Rio de Janeiro, 2008.

ELETROBRAS, Procel Edifica; INMETRO, Programa Brasileiro de Etiquetagem; CB3E, UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

ELETROBRAS, Procel Edifica; INMETRO, Programa Brasileiro de Etiquetagem; CB3E, UFSC. **Manual para etiquetagem em edificações públicas**. Rio de Janeiro, 2014.

FURTADO, André. **Crise energética e trajetórias de desenvolvimento tecnológico**. São Paulo: Cepal, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_encaa/defaulttabpdf_UF.shtm>. Acesso em: 02 de março de 2015.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. 2013.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 2013.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. 2011.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007.

PANESI, André R Quinteros. **Fundamentos de Eficiência Energética**: industrial, comercial e residencial. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

PEREIRA, Cláudia Donald; LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir. **Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil**. Florianópolis: CB3E, 2015.

PESSOA, João Lorenzo Novaes; GHISI, Enedir. **Estado da arte em eficiência energética: sistemas de condicionamento de ar**. Florianópolis: CB3E, 2015.

PROCEL INFO. **Domus, o primeiro software brasileiro lançado pela Eletrobras Procel para auxiliar no processo de Etiquetagem de Edificações**. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2015.

REIS, Lineu Belico; SILVEIRA, Semida. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: EDUSP, 2001.

VIANA, Fabiana Gama. **Histórico do planejamento energético no Brasil**. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/02.shtml>>. Acesso em: 08 de outubro de 2014.