

**BRUNO RAMOS RUFINO DOS SANTOS
RENATO FERNANDES FONTOURA DE LIMA**

**DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO
PÚBLICO. ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Formatura do Curso de
Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo

São Paulo
2018

**BRUNO RAMOS RUFINO DOS SANTOS
RENATO FERNANDES FONTOURA DE LIMA**

**DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO
PÚBLICO. ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Formatura do Curso de
Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo

Orientador: Prof. Dr. Daniel Setrak
Sowmy

São Paulo
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Santos, Bruno Ramos Rufino dos
Diagnóstico de eficiência energética em edifício público: estudo de caso.
/ B. R. R. Santos, R. F. F. Lima -- São Paulo, 2018.
100 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Eficiência energética 2.Edifícios públicos I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil
II.t. III.Lima, Renato Fernandes Fontoura de

Catalogação-na-publicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
4	METODOLOGIA	21
4.1	Coleta de Dados	22
4.2	Aplicações de equações analíticas	23
4.2.1	Envoltória.....	23
4.2.2	Sistema de iluminação.....	24
4.2.3	Sistema de ar condicionado	26
4.3	Bonificações.....	27
4.4	Classificação Geral	28
5	ESTUDO DE CASO	30
5.1	Caracterização do edifício.....	30
5.2	Levantamento Técnico	33
5.2.1	Envoltória.....	34
5.2.2	Sistema de Iluminação	37
5.2.3	Sistema de ar condicionado	40
6	ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	44
6.1	Envoltória	44
6.1.1	Pré-requisitos específicos.....	44
6.1.2	Determinação da Eficiência	48
6.1.3	Classificação da eficiência.....	53
6.2	Sistema de iluminação	54
6.2.1	Pré requisitos específicos.....	54
6.2.2	Determinação da eficiência	54
6.2.3	Classificação da eficiência.....	55
6.3	Sistema de condicionamento de ar	55
6.4	Classificação geral	56
6.4.1	Pré-requisitos gerais.....	56
6.4.2	Bonificações	57
6.4.3	Determinação da eficiência geral.....	57
6.4.4	Classificação da eficiência geral.....	58
7	PROPOSTAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	59
7.1	Envoltória	59
7.2	Sistema de iluminação	62
7.3	Sistema de condicionamento de ar	69
8	RECLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA.....	79
8.1	Envoltória	79
8.2	Sistema de iluminação	80
8.3	Sistema de condicionamento de ar	80
8.4	Eficiência geral.....	81
9	ANALISE DE MELHORIAS	82
9.1	Análise financeira	82
9.2	Análise ambiental	84
10	CONCLUSÃO.....	87
11	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	89

RESUMO

O desenvolvimento da sociedade tem demandado a cada momento mais a geração de energia. Com isso, eleva-se também a degradação ambiental decorrente da manipulação desse insumo e buscam-se soluções para essa questão de primordial importância na atualidade. Como respostas pode-se ressaltar dois âmbitos, o primeiro é o foco na geração de energia mais limpa e que gere menos impacto e o segundo no uso eficiente da energia, produzindo-se cada vez mais com menos consumo. Em tal segundo ambiente, o presente trabalho situa-se.

Assim, este trabalho focaliza a eficiência energética dentro de edificações que é o destino da maior parcela dentro dos usos da energia no Brasil. O trabalho ocorre no grupo das edificações públicas, por meio principalmente de um estudo de caso de diagnóstico de eficiência energética pelo qual propõe descrever os pontos críticos que resultem em um uso excessivo de energia e possíveis medidas mitigadoras para esses casos, buscando trazer ganhos financeiros e ambientais.

Palavras-Chave: eficiência energética, edifício público, diagnóstico de energia.

ABSTRACT

The development of society has increasingly demanded the generation of energy. This also increases the environmental degradation resulting from the manipulation of this input and seeks solutions to this issue of primary importance at the present time. As answers we can emphasize two scopes, the first one is the focus on the generation of cleaner energy that generates less impact and the second on the efficient use of energy, producing more and more with less consumption. In this second environment, the present work is situated.

Thus, this work focuses on energy efficiency within buildings which is the destination of the largest share of energy uses in Brazil. The work takes place in the group of public buildings, mainly through a case study of energy efficiency diagnosis, which proposes to describe the critical points that result in an excessive use of energy and possible mitigating measures for these cases, seeking to bring financial gains and environmental impacts.

Key-words: energy efficiency, public building, energy diagnosis

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – O consumo per capita de energia das nações e o IDH em 2004</i>	4
<i>Figura 2 – O consumo per capita final de energia no Brasil e o IDH-M, 1970 a 2005.</i>	5
<i>Figura 3 Variação do PIB e Variação do consumo de energia (1998 - 2007)</i>	5
<i>Figura 4 Consumo de energia elétrica per capita em 2007.....</i>	6
<i>Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira</i>	7
<i>Figura 6 - Participação de renováveis na matriz elétrica.....</i>	7
<i>Figura 7 Consumo de energia nas edificações do Brasil</i>	9
<i>Figura 8 Lâmpadas LED – Edifício Ministério de Minas e Energia.....</i>	13
<i>Figura 9 Sistema VRF – Edifício Ministério de Minas e Energia</i>	13
<i>Figura 10 Aberturas zenitais – Salvador Norte Shopping.....</i>	15
<i>Figura 11 Selo Procel Edificação (esquerda) e Etiqueta PBE Edifica/ ENCE (direita)</i>	19
<i>Figura 12 Descrição do método prescritivo do RTQ-C.....</i>	22
<i>Figura 13 Foto área do conjunto do Biênio-Poli USP – Detalhe (Bloco C).....</i>	31
<i>Figura 14 Corte transversal – Bloco C</i>	32
<i>Figura 15 Corte Longitudinal - Bloco C</i>	32
<i>Figura 16 Planta baixa - Térreo.....</i>	33
<i>Figura 17 Planta baixa - 1º pavimento.....</i>	33
<i>Figura 18 Planta baixa - 2º pavimento.....</i>	33
<i>Figura 19 Fachada nordeste</i>	34
<i>Figura 20 Fachada nordeste</i>	35
<i>Figura 21 Fachada sudoeste.....</i>	36
<i>Figura 22 Cobertura (Bloco C)</i>	37
<i>Figura 23 Sistema de iluminação de salas de aula (Bloco C)</i>	38
<i>Figura 24 Sistema de iluminação dos corredores (Bloco C)</i>	38
<i>Figura 25 Sistema de iluminação do hall de entrada (Bloco C).....</i>	39
<i>Figura 26 Sistema de iluminação Lanchonete (Bloco C).....</i>	39
<i>Figura 27 Sistema de condicionamento de ar Midea</i>	41
<i>Figura 28 Sistema de condicionamento de ar – unidades evaporadoras.....</i>	41
<i>Figura 29 Sistema de condicionamento de ar – unidades condensadores</i>	42
<i>Figura 30 ENCE aparelho de ar condicionado Split</i>	42
<i>Figura 31 Sistema de condicionamento de ar tipo janela.....</i>	43
<i>Figura 32 Detalhe em corte - cobertura (Bloco C).....</i>	45
<i>Figura 33 Ângulo de sombreamento - Brises</i>	51
<i>Figura 34 Ângulo de sombreamento - autossombreamento</i>	51
<i>Figura 35 Camadas para implementação da cobertura verde.....</i>	61
<i>Figura 36 Distribuição de iluminância pelo ambiente</i>	64
<i>Figura 37 Uniformidade de Iluminância – Sistema atual</i>	65
<i>Figura 38 Uniformidade de Iluminância – Sistema Atual.....</i>	65
<i>Figura 39 Módulo Linear Light Bar</i>	66
<i>Figura 40 Distribuição de iluminância pelo ambiente – Solução proposta</i>	67
<i>Figura 41 Uniformidade de iluminância - Solução Proposta.....</i>	68
<i>Figura 42 Uniformidade de iluminância - Solução Proposta.....</i>	68
<i>Figura 43 Chiller.....</i>	71
<i>Figura 44 Fan Coil.....</i>	71
<i>Figura 45 Sistema de ar condicionado com chiller.....</i>	71
<i>Figura 46 Sistema VRF.....</i>	72
<i>Figura 47 Sistema VRF</i>	73

<i>Figura 48 Comparativo de consumo de energia - água gelada e VRF.....</i>	74
<i>Figura 49 Comparativo de custo de energia - água gelada e VRF.....</i>	74
<i>Figura 50 Comparativo de consumo de energia - água gelada e VRF.....</i>	74
<i>Figura 51 Exemplo de unidade condensadora Trane.....</i>	76
<i>Figura 52 Unidade evaporadora Trane Piso Teto</i>	77
<i>Figura 53 Unidade evaporadora Trane HIWALL</i>	77

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 Eficiência energética – Custo do não fazer</i>	12
<i>Tabela 2 Ranking mundial de eficiência energética - item: Edifícios.....</i>	16
<i>Tabela 3 Resultados acumulados pelo Procel (1986 – 2008)</i>	18
<i>Tabela 4 Barreiras à eficiência energética</i>	20
<i>Tabela 5 Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI) para o nível de eficiência pretendido – método da área do edifício.....</i>	26
<i>Tabela 6 Exemplos de bonificações no RTQ-C.....</i>	28
<i>Tabela 7 Classificação Geral.....</i>	29
<i>Tabela 8 Aberturas Bloco -C</i>	35
<i>Tabela 9 Lâmpadas do sistema de iluminação (Bloco C)</i>	37
<i>Tabela 10 Quantificação do sistema de iluminação (Bloco C)</i>	40
<i>Tabela 11 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura</i>	45
<i>Tabela 12 Resistência térmica superficial interna e externa</i>	46
<i>Tabela 13 Fator solar normal (FSnormal) para materiais homogêneos – vidros comuns, policarbonatos e acrílico</i>	50
<i>Tabela 14 Comparaçao de parâmetros nas equações IC</i>	52
<i>Tabela 15 Níveis de classificação de envoltória.....</i>	53
<i>Tabela 16 Níveis de classificação de envoltória – aplicação ao estudo de caso.....</i>	53
<i>Tabela 17 Potência de iluminação limite por nível de eficiência.....</i>	55
<i>Tabela 18 Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)</i>	57
<i>Tabela 19 Requisitos de desempenho</i>	63
<i>Tabela 20 Resultados obtidos - Sistema Atual.....</i>	64
<i>Tabela 21 Datasheet Modulo Linear Light Bar</i>	66
<i>Tabela 22 Dimensões do módulo linear Light Bar.....</i>	67
<i>Tabela 23 Resultados obtidos - Sistema Proposta.....</i>	67
<i>Tabela 24 Relação de sistema de ar condicionado</i>	69
<i>Tabela 25 Comparativo entre sistema de água gelada e VRF</i>	73
<i>Tabela 26 Eficiência mínima de condicionadores de ar tipo VRF que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para classificação no nível A</i>	75
<i>Tabela 27 Especificações técnicas unidades condensadora Trane</i>	76
<i>Tabela 28 Consumo de energia médio anual do sistema atual de ar condicionado..</i>	77
<i>Tabela 29 Consumo de energia médio anual do sistema proposto de ar condicionado</i>	78
<i>Tabela 30 Tarifas AES Eletropaulo consumidor A4 verde</i>	83
<i>Tabela 31 Redução financeira com as melhorias propostas</i>	84
<i>Tabela 32 Fatores médios de emissão de CO₂.....</i>	86
<i>Tabela 33 Redução total de emissão de CO₂ devido as melhorias propostas</i>	86

1 INTRODUÇÃO

Em seu discurso na Assembleia-Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) realizada em setembro de 2017, o presidente Michael Temer deu foco às discussões ambientais em torno do desenvolvimento do Brasil. Segundo Temer, o compromisso do Brasil com o desenvolvimento sustentável “é de primeira hora”, ressaltando que o tema é diretriz das políticas públicas e atuações externas do país. Como um dos argumentos para seu posicionamento, o presidente utilizou o exemplo da matriz energética brasileira, destacando que a energia limpa e renovável representa mais de 40% da geração brasileira e que isso representa três vezes a média mundial (Leopoldo, 2017).

O discurso de Temer reitera os itens ratificados pelo Brasil no ano anterior (2016) no Acordo de Paris. Tal acordo foi adotado na 21^a Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC do original em inglês) com o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima, limitando o aumento de temperatura em 2°C acima dos níveis pré-industriais. Para tal objetivo, os governos determinaram seus próprios compromissos por meio das “pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC na sigla em inglês). A NDC do Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% em relação aos níveis de 2005 até 2025, com uma indicação subsequente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Para isso, o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2017).

De acordo com o pesquisador de mudanças climáticas Paulo Artaxo em entrevista ao Instituto Socioambiental (ISA), o Brasil não está agindo no tempo certo para combater as alterações climáticas em alguns aspectos apenas. Segundo ele, o Brasil não está dado a devido prioridade para a implementação de programas de geração de energia pelas fontes eólicas e solar. Os ganhos são enormes com a

exploração dessas fontes e com programas de descentralização industrial que levem as indústrias para mais próximo da geração de energia, reduzindo as perdas com transporte de energia, o que ocorre com a energia das hidrelétricas da Amazônia abastecendo o sul, por exemplo. Artaxo defende que tais alterações precisam ser bancadas pela política industrial do país e que atualmente o Ministério de Minas e Energia não leva em consideração as alterações no padrão hídrico que já é observado no Brasil. Também discorda dos percentuais de redução de emissão de gases do efeito estufa definidos no acordo de Paris, defende que para a meta proposta de 2°C no máximo de aumento de temperatura seria necessários números próximos a 70% de redução de emissão.

Acordos ambientais globais como o realizado em Paris são marcos do desenvolvimento do tema sustentabilidade ambiental na sociedade. Por exemplo, pode-se citar como primeiro passo global significativo em relação ao desenvolvimento sustentável, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente realizada em 1972, conhecida como Conferência de Estocolmo. Tal encontro resultou, por exemplo, na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Após debates entre os 113 países e 400 organizações governamentais e não-governamentais participantes foi elaborada a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano, a qual dentre seus 26 princípios que invocam a preservação dos recursos naturais está o reconhecimento de que os recursos naturais necessitam de gestão adequada para não serem esgotados. O reconhecimento da essencialidade do meio ambiente natural para a permanência dos direitos humanos e para uma qualidade de vida saudável é apontado logo na primeira questão do Preâmbulo da Declaração.

O homem é ao mesmo tempo obra e construtor do meio ambiente que o cerca, o qual lhe dá sustento material e lhe oferece oportunidade para desenvolver-se intelectual, moral, social e espiritualmente. Em larga e tortuosa evolução da raça humana neste planeta chegou-se a uma etapa em que, graças à rápida aceleração da ciência e da tecnologia, o homem adquiriu o poder de transformar, de inúmeras maneiras e em uma escala sem precedentes, tudo que o cerca. Os dois aspectos do meio ambiente humano, o natural e o artificial, são essenciais para o bem-estar do homem e para o gozo dos direitos humanos fundamentais, inclusive o direito à vida mesma (declaração da

Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano – 1972, tradução não oficial).

Com ajuda da repercussão gerada pela Conferência de Estocolmo às questões relacionadas aos impactos das ações humanas no meio ambiente natural, em 1983 foi estabelecida na ONU a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Tal comissão publicou em 1987 o relatório “Nosso Futuro Comum”, o qual tinha como objetivo principal investigar as preocupações levantadas nas décadas anteriores e trazer ao discurso público o conceito de desenvolvimento sustentável. O relatório estipulou a primeira e uma das mais divulgadas definições de desenvolvimento sustentável (ONU BR, 2017):

O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.

Com isso, o desenvolvimento sustentável se tornou cerne da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992. A também chamada ECO-92 consolidou-se como a primeira tentativa internacional de elaborar planos de ação e estratégia para o crescimento sustentável das nações (MIKHAILOVA, 2004). Outros eventos relevantes para o crescimento do conceito de desenvolvimento sustentável podem ser citados como a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio (1985), Protocolo de Montreal (1987), Protocolo de Quioto (1997) e a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas-COP15 (2009), por exemplo, entretanto uma descrição detalhada foge do escopo do presente trabalho.

Uma vez descrita a evolução recente do tema e o conceito de desenvolvimento sustentável é simples estabelecer uma relação entre o setor energético (geração, transmissão e consumo), o desenvolvimento social-econômico e os desafios ambientais incluídos na sociedade atual.

A energia é hoje um bem básico imprescindível a integração do ser humano ao desenvolvimento (ROMERO, 2014). A partir do rompimento de barreiras técnicas e

financeiras, o acesso à energia em suas variadas formas está diretamente relacionado à disponibilidade de serviços essenciais para a qualidade de vida de uma comunidade como educação, transporte, saneamento e saúde.

Pereira (2017) estabelece uma relação entre o Índice de desenvolvimento humano-IDH (critérios: Educação, Longevidade e Renda) e o consumo de energia equivalente per capita no Brasil e no Mundo. É possível observar um incremento acentuado no nível de IDH com o aumento de disponibilização de energia por habitante até um certo ponto após o qual essa relação torna-se mais suave (Figura 1). Relação sob a qual se conclui que a disponibilização de energia gera um incremento maior de qualidade de vida em países menos desenvolvidos como o Brasil (Figura 2), tal análise também é ressaltada em (GOLDEMBERG, 1998).

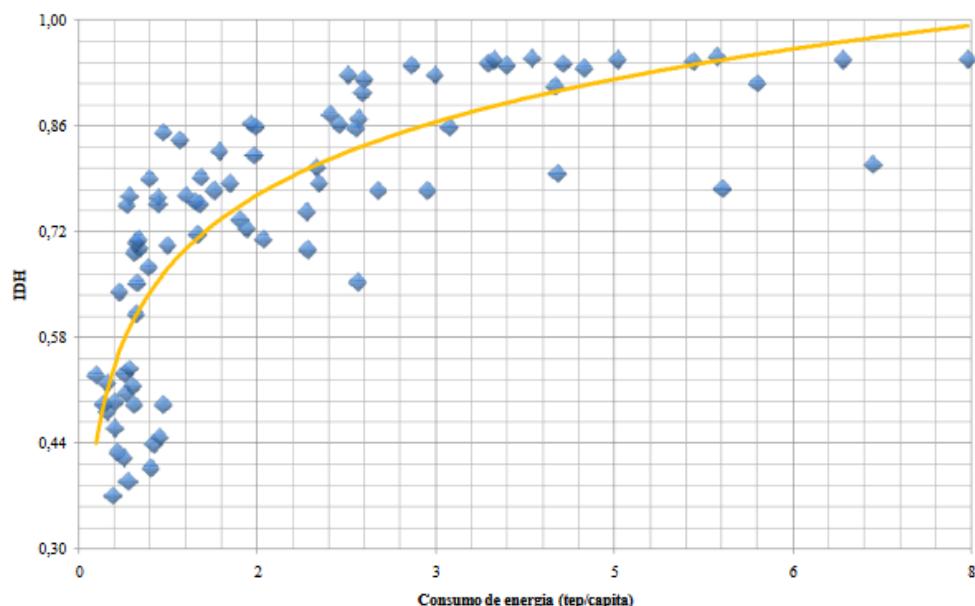


Figura 1 – O consumo per capita de energia das nações e o IDH em 2004
(Fonte: PEREIRA, 2007)

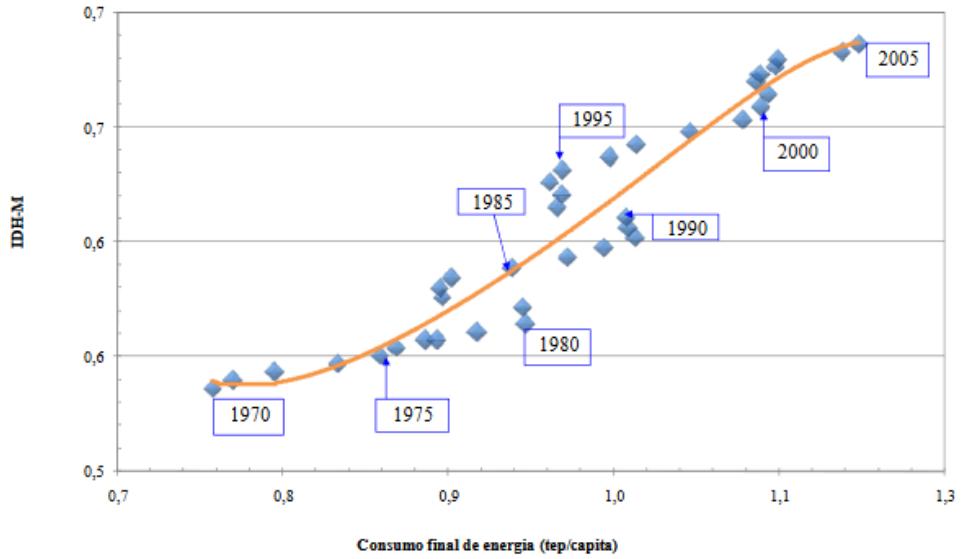


Figura 2 – O consumo per capita final de energia no Brasil e o IDH-M, 1970 a 2005
(Fonte: PEREIRA, 2007)

Diretamente relacionado ao nível de IDH de um país, o desenvolvimento econômico também está ligado ao consumo de energia como pode ser visto no caso brasileiro (Figura 3), onde desenvolvimento econômico é representado pelo PIB (ANEEL,2008):

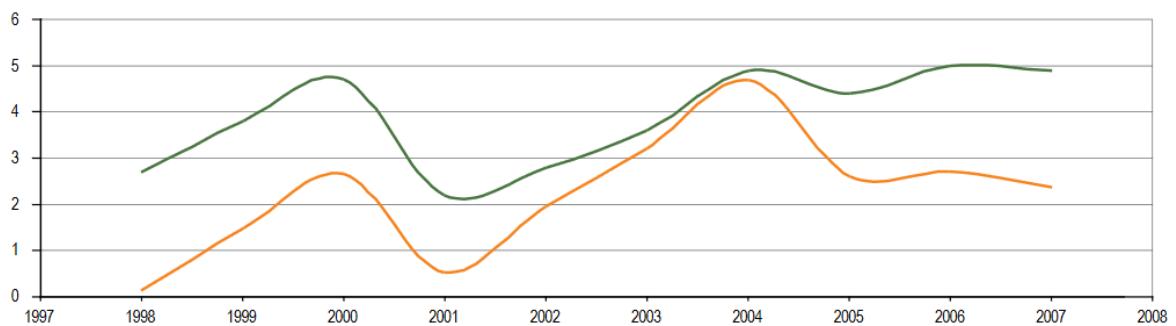
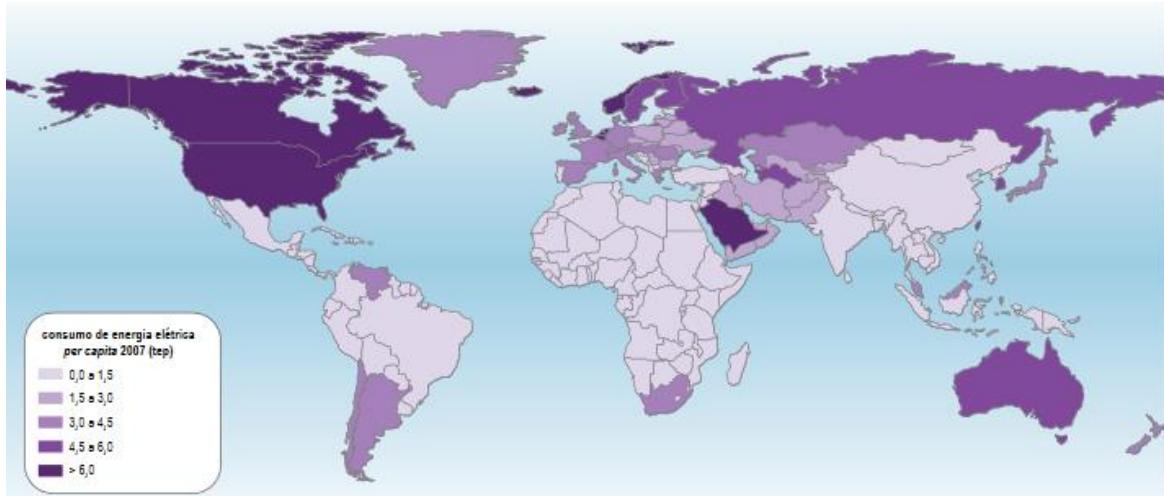


Figura 3 Variação do PIB e Variação do consumo de energia (1998 - 2007)
(Fonte: ANEEL,2008)

Tal fato também é visível pelo mundo, onde países desenvolvidos economicamente tendem a possuir um consumo maior de energia que países em desenvolvimento (Figura 4).



*Figura 4 Consumo de energia elétrica per capita em 2007
(Fonte:ANEEL,2008)*

Com isso, o desenvolvimento econômico e social pode ser diretamente impactado pelo incremento de disponibilidade de energia dentro de uma comunidade. Entretanto, como apontado nas recentes diretrizes globais para o desenvolvimento sustentável, a energia em toda sua cadeia de desenvolvimento é fator determinante para a redução futura da emissão de gases do efeito estufa (GEE) e demais impactos ambientais associados à sociedade de consumo.

Tratando-se de meio ambiente, o setor energético gera impactos ambientais relevantes desde sua captação de recursos naturais para geração até os diversos usos finais pelos consumidores. Pode-se citar alguns desses principais impactos e suas causas conforme Romero (2014):

- Poluição do ar urbano: Produção de energia a partir de combustíveis fósseis gera emissão de SO_x, NO_x, CO₂, CH₄, C) e partículas.
- Chuva ácida: Geração de energia por meio de carvão mineral, por exemplo, emite SO₂ e NO_x, sendo um dos principais causadores desse impacto.
- Efeito estufa e mudanças climáticas: Produção de energia a partir de combustíveis fósseis gera CO₂, o qual acredita-se ser um dos principais responsáveis.
- Desflorestamento e desertificação: Relacionados à poluição do ar, exploração de produtos ambientais e expansão da agricultura, itens direta e indiretamente ligados à geração de energia.

- Degradação Marinha e costeira: Impacto resultante, por exemplo, da exploração inadequada de petróleo.
- Alagamento: Um dos principais impactos da produção de energia hidroelétrica com o desenvolvimento de barragens e reservatórios
- Contaminação radioativa: Associada à energia nuclear e seus resíduos.

Como ressaltado por Temer em seu discurso na Assembleia-Geral da ONU (LEOPOLDO, 2017), o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo com base principalmente hidroelétrica, representando cerca de 80% da geração de energia elétrica nacional (Figuras 4 e 5) (EPE, 2017).

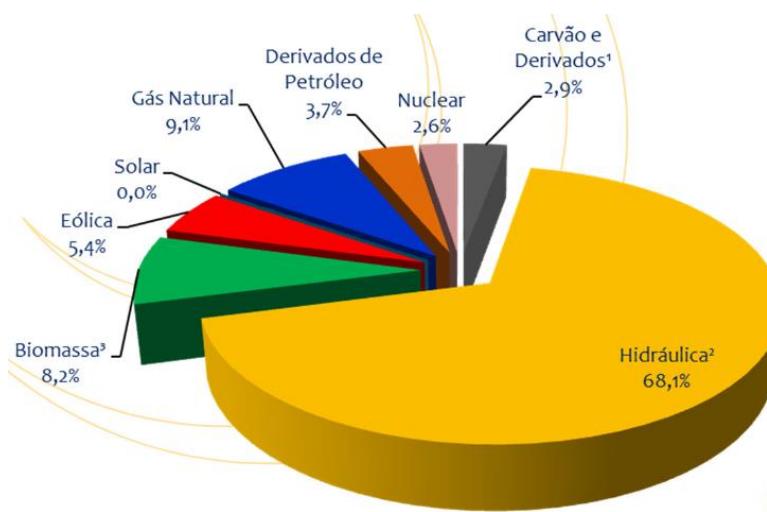


Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira
(Fonte: EPE, 2017)

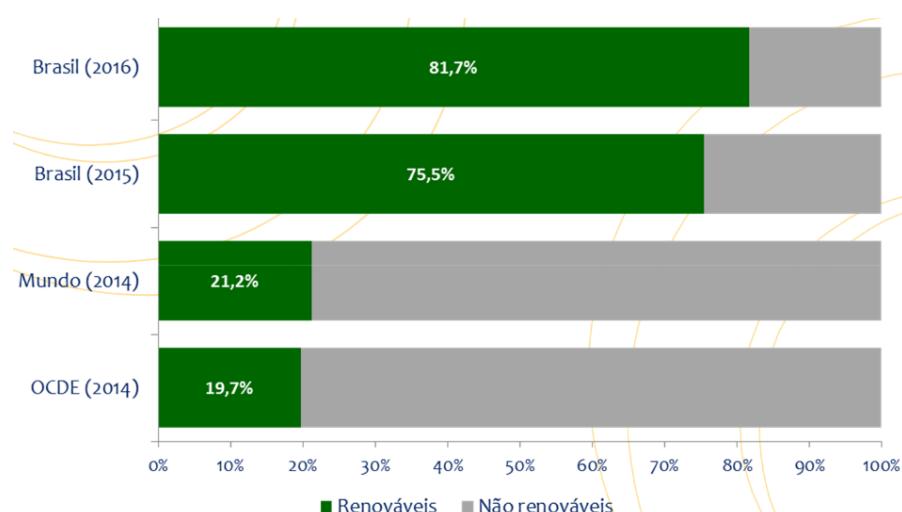


Figura 6 - Participação de renováveis na matriz elétrica
(Fonte: EPE, 2017)

O presente trabalho busca, portanto, baseando-se no conceito de desenvolvimento sustentável, posicionar-se sobre a questão relacionada ao conflito entre o necessário desenvolvimento econômico e social, principalmente no Brasil, o qual demanda de energia disponível e os possíveis impactos ambientais relacionados a cadeia desse insumo, além da explícita necessidade de redução da emissão de gases do efeito estufa, assumida em compromisso pelas nações em recentes assembleias globais. Como solução a tal conflito, utiliza-se do conceito de eficiência energética.

Eficiência energética é definida no Plano Nacional de Eficiência Energética como:

Ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Objetiva, em síntese, atender às necessidades da economia com o menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza.

A eficiência energética, portanto, aparece como solução para um aumento de capacidade produtiva, com possíveis incrementos ao desenvolvimento da sociedade, sem um grande impacto na produção e consumo de energia. Além dos ganhos ambientais com tal medida, reduzindo os impactos citados acima relacionados a cadeia do setor energético, a eficiência energética também aparece como uma ferramenta de redução de custos em todos os setores da economia de um país. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia, o Brasil desperdiça aproximadamente 53 Terawatts-hora por ano. Este montante representa uma perda equivalente a 60% de toda energia produzida por ano em Itaipu (ABESCO, 2018). Com isso, existe espaço para uma economia de 10% de todo o consumo de energia do país, sendo 15% no consumo residencial, 6,2 % no industrial, 11% no comercial e 10% em outros. Tais números mostram o nível reduzido de modernização dos equipamentos que consomem energia nos diversos seguimentos da economia brasileira, bem como um grande espaço para otimização de processos.

A viabilidade da eficiência energética frente aos problemas modernos de conciliação do desenvolvimento econômico-social com a preservação do meio

ambiente, também é apontada por Goldemberg (2007) em seu relatório de Estudos Avançados na área de energia:

Isso pode ser concretizado por meio de políticas e ações relativamente simples e muitas vezes economicamente atrativas. Novas tecnologias mais eficientes em refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, motores e lâmpadas já são produzidas e/ou comercializadas no país. A conservação de eletricidade reduz o consumo e posterga a necessidade de investimentos em expansão da capacidade instalada, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados aos usuários finais. A eficiência energética é, sem dúvida, a maneira mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais. Além disso, a conservação diminui a necessidade de subsídios governamentais para a produção de energia

Com isso o trabalho que segue situa-se no âmbito do consumo de energia elétrica em edifícios públicos ou comerciais no Brasil. Tal tema inclui-se dentro de uma relevante parte do grande debate em torno de um desenvolvimento sustentável e da eficiência energética como solução para tal. Edifícios consomem cerca de 32% da energia no mundo (ACEEE, 2016) e segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2014, o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a 48,5% da energia consumida no Brasil, sendo tal consumo dividido nas áreas residenciais (24,2%), comerciais (16,3%) e públicas (8%), o setor hoje lidera o ranking, ultrapassando a indústria (Figura 7).

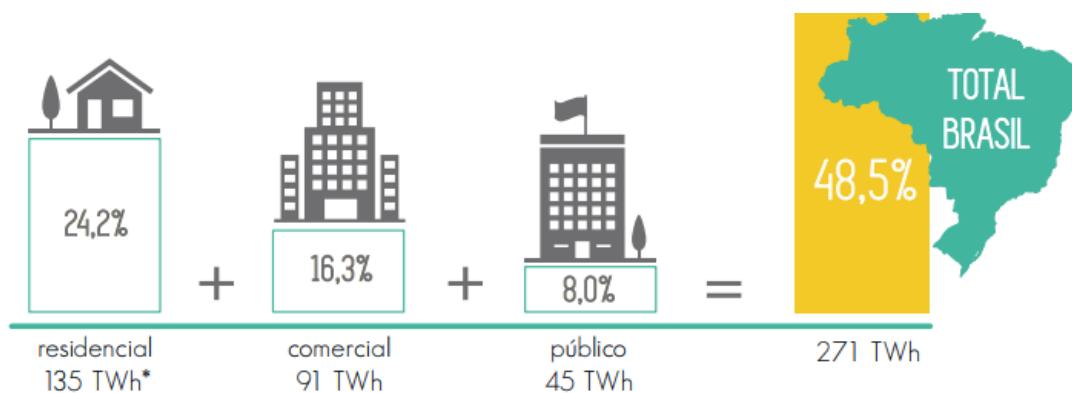


Figura 7 Consumo de energia nas edificações do Brasil
(Fonte: Balanço Energético Nacional, 2014)

2 OBJETIVOS

Por meio do conceito de sustentabilidade, o objetivo do presente estudo é realizar um diagnóstico de eficiência energética no edifício proposto como estudo de caso, focando em pontos pertinentes e relevantes ao consumo de energia de uma edificação como: envoltória, sistema de iluminação e ar condicionado, por exemplo. Para tal, irá utilizar-se de diretrizes de metodologia de análise e certificação existentes no mercado brasileiro.

Como objetivo complementar também serão propostos tecnologias e sistemas de gerenciamento para possível melhoria de eficiência no consumo de energia no edifício estudado por meio dos sistemas analisados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Romero (2014), o surgimento do conceito de eficiência energética pode ser precisamente associado ao ano de 1973, ou melhor, a primeira crise do petróleo. O aumento expressivo nos custos do insumo energia levantou a questão sobre a efetividade com que ele vinha sendo usado em seus diversos fins, inclusive nos edifícios. Por exemplo, nos Estados Unidos os grandes edifícios do setor comercial consumiam até 100 kWh/m², números de 8 a 10 vezes os praticados na atualidade. Portanto, Romero (2014) associa a eficiência energética e seu desenvolvimento principalmente a questão da elevação tecnológica e da necessidade de redução de custos, como pode ser visto no seguinte trecho: “A eficiência energética nasceu, portanto, em um contexto de crise e vem permanecendo ao longo das últimas quatro décadas em razão do sucesso da aplicação das ferramentas legais utilizadas e do avanço tecnológico proporcionado pelo ambiente de crise e de elevações tarifárias.”

A relação entre crises econômicas e eficiência energética também é apontada por Comerc (2016) no contexto atual da economia brasileira. Segundo o artigo, a eficiência energética poderia ser uma saída para muitos negócios na crise que resultou em uma retração da economia brasileira, principalmente em 2015. A maior oportunidade poderia ser uma estratégia de consumo eficiente de energia elétrica, insumo da maioria das empresas, haja vista as tarifas sofrerem variação positiva em alguns casos de até 70%. Segundo Comerc (2016), um bom projeto de eficiência energética aparece como opção ao errado posicionamento de diminuir o número de lâmpadas e reduzir o tempo de atividades de máquinas para poupar custo em energia, mantendo-se ou aumentando a produtividade da companhia.

Importante ressaltar que o posicionamento de Romero (2014) e Comerc (2016) da eficiência energética como uma solução para a redução de custos não é aplicado apenas às indústrias, sendo também uma boa alternativa aos edifícios comerciais e públicos. Tais oportunidades são apontadas, por exemplo, na tabela 1, elaborada com base em dados de custo de oportunidade da empresa Comerc Energia, uma das empresas especializadas na área de eficiência enérgica no Brasil. Tais dados

baseiam-se em redução específica do consumo de energia elétrica nas áreas de climatização, refrigeração e iluminação.

Sistema	Potencial de Economia	Participação na conta de energia	Economia Mensal		Payback
			Mínimo	Máximo	
Shopping Center					
Climatização	10% a 50%	50%	5%	25%	36 a 72 meses
Iluminação	30% a 60%	30%	9%	18%	18 a 42 meses
Ed. Comercial/Hotel					
Climatização	10% a 50%	50%	5%	25%	36 a 72 meses
Iluminação	30% a 60%	35%	11%	21%	18 a 42 meses
Redes de Varejo					
Climatização	10% a 50%	50%	5%	25%	36 a 72 meses
Iluminação	30% a 60%	25%	8%	15%	18 a 42 meses
Supermercados					
Climatização	10% a 50%	30%	3%	15%	36 a 72 meses
Iluminação	30% a 60%	20%	6%	12%	18 a 42 meses
Refrigeração	10% a 40%	35%	4%	14%	6 a 42 meses

*Tabela 1 Eficiência energética – Custo do não fazer
(Fonte: COMERC, 2016)*

As áreas de climatização, iluminação e refrigeração apontadas na tabela 1 visam a redução do consumo de energia elétrica por meio de medidas de retrofit como a troca de lâmpadas e outros equipamentos por unidades mais modernas e eficientes.

Outros casos de sucesso são apontados no Guia para Etiquetagem de Edifícios em Eficiência Energética, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 2015. Um exemplo de projeto de retrofit voltado para eficiência no consumo de energia descrito pelo guia é o próprio edifício do MMA, principalmente devido à obrigatoriedade em 2014 de que todos edifícios federais deveriam possuir etiqueta de nível A. Por ser um prédio tombado como patrimônio histórico federal as soluções não puderam ser incluídas na envoltória, sendo concentradas nos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação. As propostas incluíram itens como a troca de parte das lâmpadas e luminárias por elementos mais modernos (Figura 7), inclusão de sensores de presença na iluminação, sistema de condicionamento de ar VRF (Fluxo de Gás Refrigerante Variável em português-Figura 8) e geração de energia solar. Com isso, a redução nos custos de energia fez com que todo o projeto fosse pago em 24 meses.



*Figura 8 Lâmpadas LED – Edifício Ministério de Minas e Energia
(Fonte: MMA, 2015)*



*Figura 9 Sistema VRF – Edifício Ministério de Minas e Energia
(Fonte: MMA, 2015)*

Na otimização do consumo de energia em edifícios, entretanto, medidas tomadas desde da etapa de projeto podem gerar resultados ainda melhores. Romero (2014) aponta tais medidas separadas em dois subgrupos que devem ser priorizados na ordem em que são citadas, tecnologias passivas e tecnologias ativas:

Tecnologias passivas incluem variáveis do projeto que otimizam o uso de recursos naturais como iluminação e circulação de ar. Dentre outros, podem-se citar os seguintes aspectos exemplos:

- A correta escolha dos materiais de construção opacos e translúcidos em função da forma
- As condições climáticas locais
- O fator de forma
- Os edifícios vizinhos e sua influência no projeto
- Os quadrantes de maior radiação
- Os protetores solares exteriores
- A possibilidade de captação da luz natural sem elevar excessivamente a carga térmica
- A contribuição das cargas internas

As tecnologias ativas estão relacionadas as variáveis que geram consumo de energia e complementam as passivas, as quais são incluídas após a exaustão das opções passivas. Alguns exemplos são (ROMERO, 2014):

- Escolha adequada de lâmpadas para os ambientes externos e internos
- Divisão espacial dos circuitos elétricos
- Colocação de sensores de presença em áreas de circulações e ambientes de permanência transitória
- Adoção de luminárias refletoras
- Escolha dos ambientes com controle individual das condições de conforto
- Utilização de iluminação de segurança para o período noturno
- Viabilidade de implantação de iluminação de tarefa ou iluminação setorizada
- Localização correta dos sensores do condicionamento ambiental
- Controladores de demanda de pico
- Gerenciamento dos elevadores
- Implantação de automação dos apartamentos para o desligamento automático dos circuitos
- Escolha de equipamentos de refrigeração com baixa potência

Exemplos da vantagem de incluir-se medidas de eficiência energética como as descritas acima desde a concepção do projeto também são apontados do Guia para Etiquetagem de Edifícios, pode-se citar o caso de sucesso do Salvador Norte Shopping. Devido ao edifício estar em uma cidade quente e úmida, o principal desafio era o de se proporcionar conforto aos usuários mantendo a eficiência no consumo de energia. Para isso, no projeto foram incluídas diversas aberturas zenitais (Figura 9) e fachadas com vidros de baixa emissividade térmica, valorizando a iluminação natural sem elevar a temperatura do ambiente, outras soluções foram a escolha por telhas com elevado potencial de isolamento térmico e cores claras nas pinturas das áreas externas e internas. O projeto e o edifício do Salvador Norte Shopping foram etiquetados como classe A pelo INMETRO.



Figura 10 Aberturas zenitais – Salvador Norte Shopping
(Fonte: MMA, 2015)

Mesmo com casos de sucesso em redução de custos em energia com medidas de eficiência energética, o Brasil mostra-se pouco desenvolvido nesse tema. No relatório Scorecard divulgado em 2017 pelo Conselho Americano por uma Economia com mais Eficiência Energética (ACEEE, na sigla em inglês) o Brasil aparece como antepenúltimo colocado em um ranking que analisa as 23 maiores economias do mundo. Em tal estudo os países são analisados em quatro critérios, sendo eles: esforços nacionais, edifícios, indústria e transporte. Na área de edifícios, o Brasil ficou na 19^a posição com um total de 6,5 pontos em 25 possíveis (Tabela 2). Em relatório anterior, a ACEEE descreve a situação brasileira da seguinte forma: “a política energética do Brasil enfatiza basicamente a produção de energia renovável, deixando uma grande quantidade de eficiência energética intocada”

Country	Total score	Appliance and equipment standards	Appliance and equipment labeling	Residential building codes	Commercial building codes	Building retrofit policies	Building labeling	Energy intensity in residential buildings	Energy intensity in commercial buildings
Max. score	25	5	2	4	4	4	2	2	2
Germany	19.5	2	2	4	4	4	2	0.5	1
US	18.5	5	1	3.5	3.5	3	0.5	1	1
China	18	5	2	3.5	3	1	1	1	1.5
France	18	2	2	3	3	4	2	0.5	1.5
Canada	17.5	5	1	3.5	3.5	3	0.5	0.5	0.5
Spain	17.5	2	2	3	3	3	1	1.5	2
Italy	17	2	2	3	3	3	2	0.5	1.5
UK	16	2	2	3	3	2	2	0.5	1.5
Australia	15.5	1	1.5	4	4	2	1	0.5	1.5
Netherlands	15	2	2	3	2.5	3	1	0.5	1
Poland	15	2	2	2.5	2.5	3	2	0.5	0.5
Turkey	15	2	2	2.5	2.5	3	2	0.5	0.5
South Korea	14.5	3	2	3.5	3.5	2	0	0.5	0
Japan	13	2	1.5	3.5	2	2	0	1	1
Taiwan	13	1	1.5	2.5	2.5	3	0	1	1.5
Mexico	11	3	1	0	3	0	0	2	2
South Africa	11	0	1	4	4	0	0	0.5	1.5
India	7.5	0	1	1	2.5	0	1	1	1
Brazil	6.5	1	1.5	0	0	0	0	2	2
Russia	6	0	1.5	1.5	1.5	0	1	0	0.5
Indonesia	5.5	0	1	0	2	0	0	1	1.5
Saudi Arabia	5	0	1.5	1.5	1.5	0	0	0.5	0
Thailand	5	0	0.5	0	2.5	1	0	1	0

*Tabela 2 Ranking mundial de eficiência energética - item: Edifícios
(Fonte: ACEEE, 2017)*

A respeito de edifícios, como pode ser visto na tabela e é também apontado pelo relatório da ACEEE de 2017 e anos anteriores, um dos principais pontos que o Brasil necessita melhorar é que não existem padrões e certificações obrigatórias para instalações elétricas em prédios e residências e que exigências sobre eficiência energética só se aplica a parte dos equipamentos eletrônicos comercializados, não englobando edificações (CAMPOS, 2014).

De fato, o Brasil é retardatário em padronizações de eficiência energética de edifícios em relação a outras partes do mundo. Pode-se citar a Europa como precursora na formalização de uma regulação com intuito de obter redução do uso de energia em edificações. Existem regulamentos voltados para a redução da transferência de calor através de elementos de envoltória desde 1970, entretanto o primeiro passo relevante nesse aspecto foi dado em 1993 com a Diretiva Europeia

93/76/CEE, sendo que tal certificação era voluntária e focada em questões de envoltória e isolamento térmico. A obrigatoriedade chega com a Diretiva 2002/91/EC que também inclui um posicionamento maior em relação a iluminação e aplicação de fontes renováveis, por exemplo (HAYDT, 2012).

Nos Estados Unidos o primeiro passo relevante sobre as certificações ambientais de edifícios foi dado em 1993 com a formação do Green Building Council (USGBC), grupo formado por profissionais da construção civil voltado para promover a sustentabilidade no setor. Após perceber-se a necessidade de definir um sistema para comparar “edifícios verdes”, o grupo lançou em 2000 o projeto LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), sistema para certificação de construções verdes, com a promessa de uma redução de até 30% no consumo de energia para os edifícios que seguissem seus parâmetros. O LEED hoje é um dos maiores programas de certificação do mundo, presente em 160 países, sendo o Brasil o 4º em número de projetos certificados (GBC BRASIL, 2017).

No Brasil, antes das certificações, algumas leis regulamentaram e foram responsáveis por mecanismos que promovessem a eficiência energética de forma geral, não apenas em edifícios, dentre as quais pode-se citar (DE SOUZA, 2009):

- Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997: Restabeleceu os princípios e objetivos da “Política Energética Nacional”, instituindo o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o qual possui, entre outras funções, “promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país”.
- Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000: Determina a aplicação do montante de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias distribuidoras de energia elétrica em projetos de eficiência energética. Hoje essa determinação tem prazo até 2022.
- Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001: Também chamada de “Lei de Eficiência Energética”, defini limites para o consumo e mínima eficiência para aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil. A regulamentação desses equipamentos considera a etiquetagem e Selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica).

Citado na lei de eficiência energética o PROCEL foi convertido em programa do governo por meio de decreto em 2001, sendo coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e operacionalizado pela Eletrobrás. O programa atua em diversas áreas, sendo desde iluminação pública a gestão energética municipal, por exemplo, também incluindo edificações. Pode-se citar como responsáveis por boa parte dos resultados do programa (Tabela 3) as ações de marketing como a Etiquetagem e Prêmio PROCEL (DE SOUZA, 2009).

	Total
Investimentos Totais Realizados (R\$ Milhão) ⁹	1.055
Energia Economizada e Geração Adicional (Milhões de kWh/ano) ¹⁰	32.902
Redução de Demanda na Ponta (MW)	9.538
Usina Equivalente (MW)	7.890
Investimento Postergado (R\$ Milhões)	22.807

Tabela 3 Resultados acumulados pelo Procel (1986 – 2008)
(Fonte: DE SOUZA, 2009)

Em 2003 o PROCEL criou sua vertente voltada a eficiência energética em edificações, o PROCEL EDIFICA. Após 11 anos, em 2014, é estabelecido o Selo PROCEL Edificações (Figura 11), instrumento de adesão voluntária com o objetivo de identificar as edificações com as melhores classificações de eficiência energética. Tal selo tem como requisito a etiqueta PBE Edifica (Figura 11), classe A, para os três sistemas avaliados: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar (PROCEL INFO, 2018).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) tem origem em 1984 no Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), com o objetivo de contribuir com a racionalização do uso de energia no Brasil por meio de informações de eficiência energética, pensando inicialmente para o setor automotivo e posteriormente estendido para outros equipamentos consumidores de energia (PROCEL INFO, 2018). Foi somente em 2010 (Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010) que se incluiu o processo de etiquetagem em eficiência energética nas edificações, obtida através de avaliação de requisitos contidos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de

Serviços e Púlicos (RTQ-C). Logo em seguida, em 2012, é publicada o um novo regulamento agora focado em edifícios residências (RTQ-R). Tal etiquetagem foi pioneira no Brasil, entretanto ainda não é obrigatória e não tem requisitos mínimos de eficiência (DE SOUZA, 2009).



*Figura 11 Selo Procel Edificação (esquerda) e Etiqueta PBE Edifica/ ENCE (direita)
(Fonte: PBE, 2017)*

Importante ressaltar que o selo Procel Edificações pode ser utilizado como caminho alternativo em edificações comerciais, públicas e de serviços para a comprovação do atendimento ao pré-requisto de desempenho energético no processo LEED, o qual chegou ao Brasil em 2007 por meio da Green Building Council Brasil (GBCB). A etiquetagem PBE Edifica também é utilizada como referência para outra importante certificação para construções sustentáveis no Brasil, a certificação AQUA, aplicada no Brasil pela fundação Vanzolini e baseada na certificação francesa Démarche HQE (Haute Qualité Environmentale) (PROCEL INFO, 2018).

Além das certificações vigentes deve-se também citar como outra importante diretriz para o desenvolvimento da eficiência energética no Brasil a Norma ABNT NBR ISO 50001:2011 Sistemas de gestão de energia - Requisitos com orientação para uso, embora o foco principal do documento seja o uso nas indústrias, os conceitos de sistema de gestão de energia (SGEn) são relevantes em todos os setores da economia, incluindo o uso e manutenção de edificações (DE SOUZA, 2009).

Fazendo frente aos programas de etiquetagem, certificação e incentivos à eficiência energética em edifícios e demais âmbitos consumidores de energia, ROMERO (2014) enumera as principais barreiras enfrentadas para que se atinja os níveis ideias no uso racional dos recursos energéticos, tais barreiras são divididas em técnicas e econômicas; relacionadas aos produtores, distribuidores e fabricantes de equipamentos; relacionadas aos consumidores e barreiras sociais, políticas e institucionais (Tabela 4).

Barreiras à eficiência energética		Descrição
Técnicas e econômicas	Custos e incertezas relacionados às novas tecnologias	Tecnologias já estabelecidas tendem a ter uma maior confiabilidade e um menor custo em relação a novas tecnologias, as quais possivelmente seriam mais eficientes
	Falta de recursos para avanços tecnológicos	Países com menos recursos e em desenvolvimento pode existir a falta de investimento em pesquisa e desenvolvimento de produtos mais eficientes
	Promoção da eficiência energética e ao uso de fontes alternativas	São necessários recursos para um programa de eficiência energética disseminar o potencial de conservação e as vantagens econômicas que medidas eficientes podem gerar.
Produtores, distribuidores e fabricantes de equipamentos	Dilema dos fornecedores	A remuneração de concessionárias de energia proporcional ao consumo pode gerar uma resistência dessas por medidas de eficiência energética
	Resistência a eficiência	Na produção de equipamentos, muitas vezes prioridade em eficiência pode aumentar custo, o que pode favorecer a produção de equipamentos baratos e ineficientes
Consumidores	Falta de informação	O desconhecimento dos benefícios da eficiência energética por grande parte da população dificulta o desenvolvimento desse tema
	Contexto econômico	Com a incerteza dos preços futuros de energia, os benefícios da conservação dessa podem ser de difícil mensuração. O que pode adiar investimentos por parte dos consumidores.
Sociais, políticas e institucionais	Desinteresse de terceiros	Consumidores podem não realizar investimentos em eficiência por estarem utilizando equipamentos ineficientes de terceiros. Por exemplo, locatários de edificações pouco eficientes.
	Necessidades básicas das camadas desfavorecidas da população	O acesso dessa população a energia e medidas eficientes de consumo, pode depender de subsídios especiais financiados pela sociedade

*Tabela 4 Barreiras à eficiência energética
Fonte: Elaboração própria com base em Romero (2014)*

4 METODOLOGIA

Após consulta à referência bibliográfica disponível sobre as metodologias existentes hoje no Brasil para avaliação de eficiência energética em edificações, optou-se no presente projeto por basear-se principalmente nas diretrizes do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C) divulgado pelo INMETRO em 2010, instituto vinculado ao Governo Federal. Tal regulamento especifica os critérios de enquadramento e os procedimentos necessários para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (Figura 11) do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificação (PBE Edifica). A opção por tal metodologia decorreu da vasta disponibilização de informações disponíveis sobre sua aplicação, uma vez ser criada pelo poder público e pelo método do INMETRO também ser aceito nos requisitos de eficiência energética de outras reconhecidas certificações como LEED e AQUA.

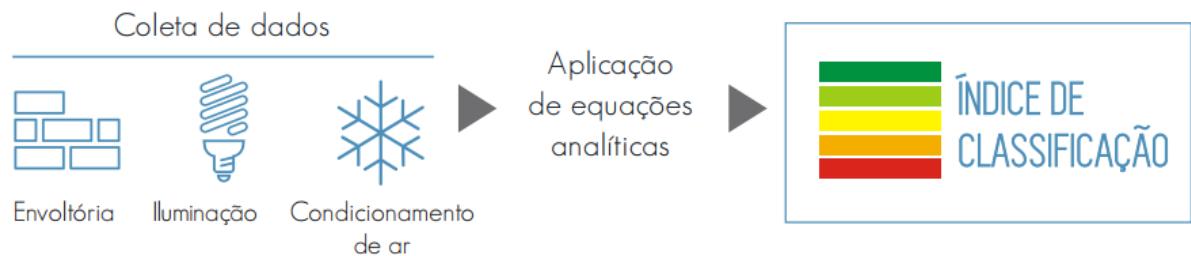
O RTQ-C é apto tanto ao diagnóstico de projetos de novas edificações quanto em projetos de retrofit, objetivo desse trabalho. Por fim, para a realização do processo de diagnóstico do edifício e como referência para descrição do seguinte item do texto, utilizou-se do RTQ-C, bem como do Guia para Etiquetagem de Edifícios (2015) e do Manual para aplicação do RTQ-C (2013), documentos divulgados pelo governo para uma assimilação mais simplificada dos conceitos abordados no RTQ-C.

O diagnóstico orientado no RTQ-C classifica os edifícios em níveis de eficiência energética de A até E, sendo E o menos eficiente e A o mais otimizado no consumo de energia. Para isso, são descritos pré-requisitos gerais e específicos nas áreas de envoltória, sistema de iluminação e sistema condicionamento de ar. Cada subsistema recebe uma classificação de A até E, sendo que a ponderação dessas classificações individuais, gera a classificação geral do edifício.

A etiqueta do PBE Edifica é emitida por um organismo de Inspeção acreditado pelo INMETRO (OIA). Entretanto, antes do interessado submeter os documentos e projetos ao OIA para avaliação, deve optar por um dos dois métodos

possíveis, o de simulação ou prescritivo: O método de simulação propicia uma avaliação da edificação mais completa, com soluções arquitetônicas mais flexíveis, por meio de software de simulação energética. Já método prescritivo, o qual o presente trabalho orienta-se, é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão. Tal método é uma simplificação do método de simulação e visa a classificação das edificações segundo equações e tabelas fornecidas nos regulamentos.

O método prescritivo tem a seguinte ordem de procedimento, os quais são descritos nos itens que seguem:



*Figura 12 Descrição do método prescritivo do RTQ-C
(Fonte: MMA, 2015)*

4.1 Coleta de Dados

As informações para desenvolvimento do diagnóstico de eficiência energético do edifício estudo de caso (Biênio da Poli USP) tem as seguintes origens:

- Pesquisa: busca em meios digitais e impressos por informações relacionadas ao projeto e concepção do edifício, bem como dados históricos de reformas e alterações no projeto origem ao longo de sua vida útil até o momento.
- Projeto Arquitetônico: obteve-se acesso ao projeto arquitetônico em via digital do edifício por meio de contato com a Superintendência do Espaço Físico da USP (SEF) e do Programa Permanente para o Uso Eficiente dos Recursos Hídricos e Energéticos da USP (PUERHE).
- Coleta em campo: Dados pertinentes a avaliação do RTQ-C não contemplados no projeto executivo recebido do edifício serão obtidos em campo. Pode-se citar como exemplos: o número de equipamentos e características dos projetos de iluminação e de condicionamento de ar, medidas de alguns vãos e proteções solares e identificação de matérias e cores de envoltória.

Especificidades de materiais, como transmitância térmica por exemplo, podem ser obtidas por catálogo de fornecedores e por ensaios recomendado em normas pertinentes, serão tratados de forma mais detalhada quando descritos em seus respectivos itens.

4.2 Aplicações de equações analíticas

A seguir são descritos os pré-requisitos específicos dos subsistemas englobados no RTQ-C, bem como as equações para chegar-se aos parâmetros utilizados nesses pré-requisitos. No regulamento tais critérios são diferenciados pela área do edifício e pela zona bioclimática onde encontra-se esse edifício. Pertinentes com o edifício estudo de caso do presente trabalho, as aplicações serão apresentadas de acordo com edificações com mais de 500m² de área de projeção e na zona bioclimática 3 (cidade de São Paulo). As equações e seus parâmetros serão descritos de forma resumida, sendo que um detalhamento maior do procedimento de cálculo é possível de ser consultado no RTQ-C e eventuais particularidades de cálculo, pertinentes às informações obtidas no levantamento técnico, serão também abordadas nos respectivos itens de determinação de eficiência.

4.2.1 Envoltória

De acordo com o RTQ-C, envoltória “trata-se do conjunto de elementos construídos que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. Todos os elementos que estão acima do nível do solo e com contato com o exterior ou com outro edifício pertencem à envoltória. Exemplos: cobertura, paredes, fachada e aberturas”.

Os pré-requisitos para o nível A no subsistema envoltória são:

- Transmitância térmica: Transmitância térmica de cobertura (Ucob) de ambientes condicionados artificialmente deve ser menor que 1 W/m²K e 2 W/m²K, para ambientes não condicionados. Nas paredes externas, a transmitância térmica (Upar) não deve passar de 3,7 W/m²K.
- Cores e absorvância de superfícies: matérias de revestimento externo de paredes e coberturas devem ter alpha < 0,5.

Após esses pré-requisitos de enquadramento ao nível de eficiência a classificação é realizada pelo indicador de consumo de envoltória (ICenv), obtido pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} ICenv = & -14,14 \times FA - 113,94 \times FF + 50,82 \times PAFT + 4,86 \times FS - 0,32 \times AVS + 0,26 \times AHS \\ & - 35,75 \div FF - 0,54 \times PAFT \times AHS + 277,98 \end{aligned}$$

Onde:

Ape: Área de projeção do edifício (m²)

Atot: Área total construída (m²)

Aenv: Área da envoltória (m²)

Apcob: Área de projeção da cobertura (m²)

Vtot: Volume total da edificação (m³)

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;

FF: Fator de Forma = Aenv ÷ Vtot

FA: Fator Altura = Apcob ÷ Atot

FS: Fator Solar

PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação)

Por meio da mesma equação descrita acima e de parâmetros tabelados no RTC, obtêm-se os ICenv máximo e ICenv mínimo para a edificação, estipula-se os intervalos entre tais índices para os níveis de A até E e, com o ICenv, determina-se o enquadramento do nível para o sistema de envoltória.

4.2.2 Sistema de iluminação

Os pré-requisitos para o sistema de iluminação obter nível A de eficiência energética são:

- Divisão dos circuitos: cada ambiente fechado deve possuir pelo menos um ponto de controle de manual de acionamento do sistema, sendo que esse ponto deve ser facilmente acessível. Ambientes com mais de 250m² deverão possuir mais de um ponto de controle.
- Contribuição da luz natural: Ambientes voltados para a área externa e com mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, devem ter controles de acionamento independentes para as fileiras próximas às aberturas.

- Desligamento automático do sistema de iluminação: ambientes com mais de 250m² devem possuir sistema automático de desligamento da iluminação

Após isso, a avaliação do sistema de iluminação é baseada no limite de potência de iluminação interna e pode ser realizada por meio de dois métodos: método da área do edifício ou das atividades do edifício. O método utilizado nesse projeto é o da área do edifício, método utilizado para edifícios com até três atividades, considerando os parâmetros para a atividade principal do objeto de estudo de caso, edifício de uma universidade.

A análise consiste em determinar a área iluminada no edifício e a potência do sistema de iluminação, obtendo o parâmetro densidade de potência de iluminação (DPI – W/m²). O enquadramento do nível do edifício é obtido pela Tabela 5:

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

*Tabela 5 Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI) para o nível de eficiência pretendido – método da área do edifício
(Fonte: RTQ-C, 2010)*

4.2.3 Sistema de ar condicionado

O sistema de condicionamento de ar é analisado e classificado por ambiente, sendo possível a etiquetagem para apenas um ambiente.

O único pré-requisito nesse sistema é de espessura mínima de isolamento de tubulações para os sistemas de aquecimento e refrigeração, os quais são

apresentados em tabelas no RTA-C. Ressalta-se que o edifício utilizado como estudo de caso para o diagnóstico de eficiência energética não apresenta sistema de aquecimento e, portanto, esse sistema não será abordado na análise.

O Regulamento especifica métodos de cálculo para análise de sistemas centrais de refrigeração, como chiller por exemplo. Entretanto para sistema individuais como condicionamento de ar tipo Janela ou Split, os ambientes recebem a classificação de acordo com o nível de avaliação do equipamento do sistema que o atende, uma vez que tais equipamentos, são obrigatoriamente, avaliados e etiquetados pela ENCE/INMETRO.

Identificou-se previamente que o edifício utilizado como estudo de caso nesse trabalho possui sistema de condicionamento de ar tipo Split e Janela, o qual será detalhadamente descrito no item Levantamento Técnico.

4.3 Bonificações

A pontuação total de uma edificação pode ser acrescida em até um ponto quando iniciativas extras que aumentem a eficiência no uso de energia forem incluídas no projeto. A Tabela 6 (guia de eficiência) resume as medidas que podem ser tomadas e que se incluem no item bonificação, quando devidamente comprovadas por memorial de cálculo como redutoras do consumo de energia:

SISTEMA	EXEMPLOS	CONDICIONANTE
Uso racional de água	Torneiras com arejadores e/ou temporizadores, sanitários com sensores, reuso de água pluvial	Economia mínima de 40% no consumo anual de água do edifício
Aquecimento solar de água	Edificações de alto consumo, como academias, clubes e hospitais, não podem depender de chuveiros elétricos	Sistema deve corresponder a no mínimo 70% da demanda
Fontes renováveis de energia	Energia eólica ou painéis fotovoltaicos	Geração de eletricidade que garanta uma redução mínima de 10% no consumo anual de eletricidade
Sistemas inovadores	Iluminação natural de comprovada eficiência	Precisa reduzir em 30% ou mais do consumo de energia elétrica
Elevadores inteligentes	-	Devem possuir nível A pela norma VDI 4707

*Tabela 6 Exemplos de bonificações no RTQ-C
(Fonte: MMA, 2015)*

4.4 Classificação Geral

A classificação geral do nível de eficiência do edifício é realizada por meio de uma equação matemática que resulta em uma pontuação final (PF), ponderando-se as pontuações parciais em cada sistema: envoltória, iluminação e condicionamento de ar e possíveis pontuações de bonificação.

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

Peso
 Equivalente numérico para nível A
 Fração não condicionada - longa permanência
 Peso
 Peso
 Fração condicionada do edifício
 Fração não condicionada - curta permanência
 Bonificações

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema 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, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação

AC: área útil dos ambientes condicionados

AU: área útil

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

Por fim, após obter-se PT, para o enquadramento final do nível de eficiência energética do edifício, utiliza-se da Tabela 7.

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

*Tabela 7 Classificação Geral
(Fonte: RTQ-C, 2010)*

A metodologia descrita, portanto, será utilizada para uma análise e diagnóstico da qualidade da eficiência energética do edifício proposto como estudo de caso. Após diagnóstico das condições iniciais, com base na mesma metodologia, serão apresentadas propostas de melhoria de tal eficiência, realizando-se novo diagnóstico do nível de eficiência obtido, e analisando-se o resultado.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Caracterização do edifício

Como objeto de estudo de caso deste trabalho foi selecionado um dos edifícios que compõe o conjunto do Biênio da Escola Politécnica da USP, não somente pelas discussões interessantes que podem ser extraídas dessa edificação sob o ponto de vista da sustentabilidade, conforto térmico e eficiência energética, mas também pela possibilidade de acesso às informações pertinentes para este estudo, bem como a realização de levantamentos técnicos e fotográficos, haja visto que o autor desta pesquisa é discente da instituição.

Formado pela junção de oito edificações, o “Biênio”, Prédio José Otávio Monteiro de Camargo é destinado às aulas do Ciclo Básico dos cursos de Engenharia da Escola Politécnica, que representa os dois primeiros anos comuns à todas as graduações de engenharia. Dentre o conjunto, uma edificação se destaca, tanto pela estrutura, quanto pela espacialidade e forma, o chamado “Cirquinho”, é o mais icônico do conjunto do Biênio. Uma reforma realizada em 2011, segundo o Site Escola Politécnica, trouxe mudanças importantes para a edificação como “o aumento do conforto térmico de todas as dependências do edifício [...] a instalação de infraestrutura do sistema de ar condicionado, além de todos os equipamentos, redes de tubulação, de dutos e difusores e elétrica.” Considerando as melhorias já conquistadas no *Cirquinho*, acredita-se que outra edificação do conjunto poderia se beneficiar com as discussões, proposições e soluções levantadas por este trabalho. Sendo assim, o *Cirquinho* poderá ser trazido como repertório teórico de soluções que melhoraram a qualidade dos espaços, no entanto, a edificação abordada como estudo de caso será o prédio mais ao norte da quadra, que abriga algumas salas de aula e o Grêmio da Instituição, nomeado de bloco C, marcado em tracejado na Figura 13.



Figura 13 Foto área do conjunto do Biênio-Poli USP – Detalhe (Bloco C)
(Fonte: Google Earth, 2017)

A proposição de técnicas de eficiência energética aplicada à uma edificação requer, primeiramente, uma leitura da implantação, entorno, espacialidade, forma, aberturas e materiais, afim de compreender como as condições naturais de ventilação, insolação e influências externas atuam na edificação e como esse objeto reage à essas influências. Não somente no edifício estudado, mas uma condição comum na Cidade Universitária é que o entorno colabora para as condições térmicas, haja visto a arborização, que melhora o microclima do ambiente e o espraiamento e gabarito baixo das edificações do entorno não formam um bloqueio para a ventilação natural. A edificação estudada possui um gabarito baixo, aproximadamente 14m de altura e uma forma esguia e comprida, fruto da organização dos ambientes: a planta é composta por um corredor extenso que conecta a circulação vertical às várias salas de aula, com largura transversal de cerca de 13m (Figura 14), e seção longitudinal medindo cerca de 140m, que vai de ponta a ponta da quadra (Figura 15). Proporcionando duas grandes fachadas posicionadas para Sudoeste e Nordeste.

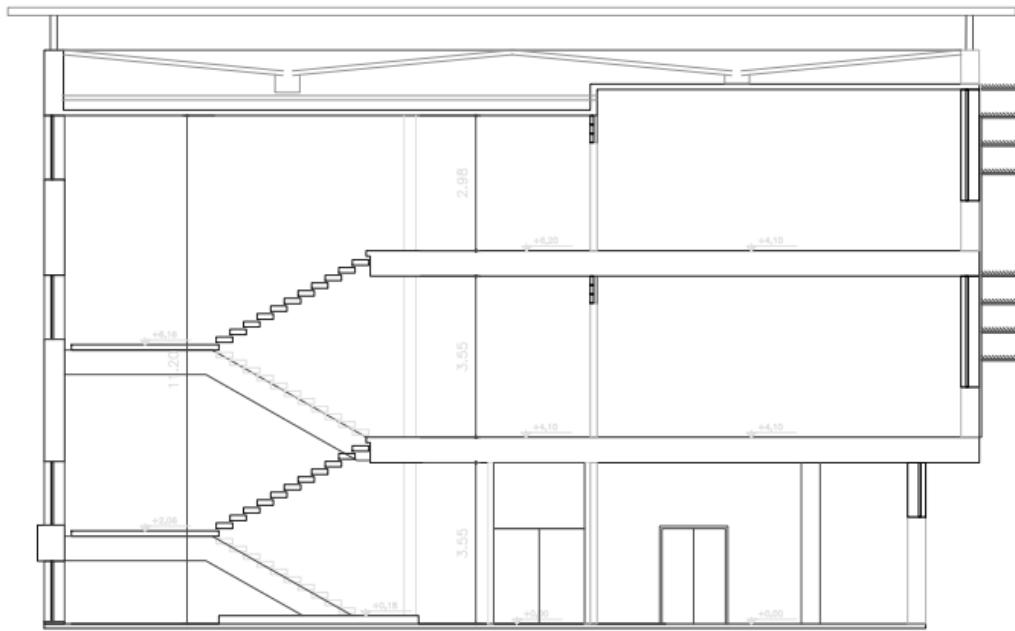


Figura 14 Corte transversal – Bloco C

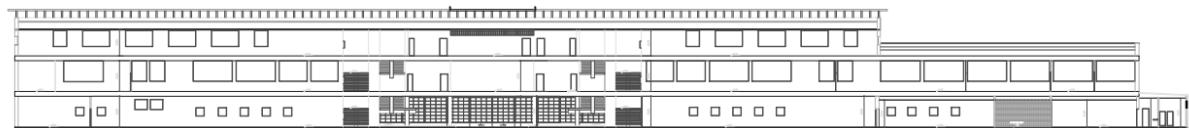


Figura 15 Corte Longitudinal - Bloco C

Nesse sentido, vale a pena ressaltar a implantação dos usos em relação à insolação. As salas de aula, estão voltadas para uma fachada bastante ensolarada, a fachada Nordeste, e mais desprotegida por estar voltada para a rua, com menos elementos externos, como árvores e edifícios, que poderiam atuar como bloqueio solar. Enquanto que o corredor, que não é local de permanência, está na fachada Sudoeste e bastante próximo de outras edificações do conjunto, recebendo uma incidência solar bem menor ao longo do ano. Como estratégia para controle da incidência solar nas salas de aula, a edificação possui brises horizontais (Figura 14) em toda a fachada Nordeste. Ambas as fachadas possuem muitas aberturas para a entrada de iluminação e ventilação, bastante característico de ambientes escolares. No entanto, as divisórias das salas de aula, impedem que a ventilação circule livremente. Há janelas altas nessas divisórias que permitem a passagem de parte da ventilação, mas que por outro lado, se ficam constantemente abertas prejudicam o conforto acústico das salas de aula.

Pelos cortes (Figura 14 e 15), é possível perceber que na cobertura há a laje de concreto e acima dela, distanciada cerca de 80cm, as telhas de fibrocimento, que realizam a caída d'água. É uma solução para a descida das águas pluviais, mas acaba tendo um reflexo no conforto térmico dos ambientes internos, à medida que esse distanciando entre a laje e as telhas formam uma camada de ar e talvez até mesmo de circulação dos ventos.

Por fim, estruturalmente o edifício é resolvido com um misto de pilares de concreto e parede de alvenaria estrutural, os fechamentos também são feitos de alvenaria e como já mencionado, acima da laje de concreto tem- se também telhas de fibrocimento. A área útil total do edifício é por volta de 4.400m² divididas em três pavimentos (Figuras 16, 17 e 18).

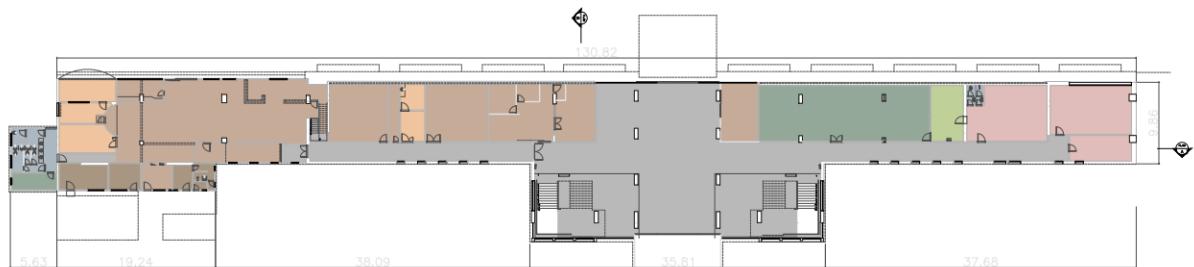


Figura 16 Planta baixa - Térreo

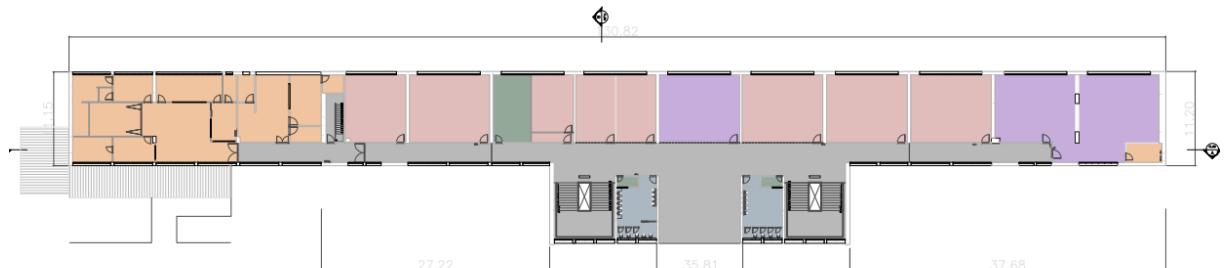


Figura 17 Planta baixa - 1º pavimento

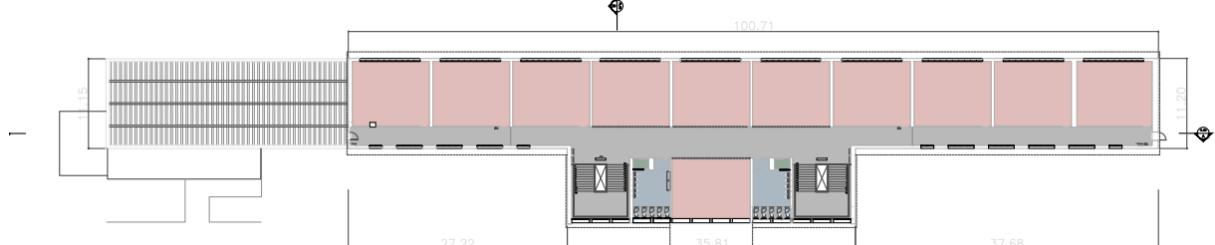


Figura 18 Planta baixa - 2º pavimento

5.2 Levantamento Técnico

A respeito do edifício proposto como estudo de caso, nos itens que seguem descrevem-se os subsistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar, com

informações pertinentes à aplicação do método de avaliação de eficiência energética do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais e Públicas RTQ-C.

5.2.1 Envoltória

Como descrito anteriormente, o edifício possui arquitetura simples e uma planta retangular estreita com dimensões aproximadas de 13mx140m e três pavimentos. A fachada nordeste (Figuras 19 e 20), onde localizam-se as salas de aula e, portanto, áreas de permanência, são as mais expostas aos raios solares, pois além de sua direção de alta incidência não existem obstáculos relevantes como árvores e outras edificações de gabarito alto. Com isso, são utilizados como soluções para proteção brises de aletas de alumínio na cor cinza perpendiculares às janelas, as quais na maioria medem 4,5m x 2,4m; com caixilhos metálicos e vidros temperados transparentes simples de 4mm de espessura (Tabela 8).



Figura 19 Fachada nordeste
Fonte: autoria própria



Figura 20 Fachada nordeste

Fonte: autoria própria

Pavimento	Fachada	Dimensão (m x m)	Área (m ²)	Quantidade	Fachada	Dimensão (m x m)	Área	Quantidade
2	Sudoeste	1,60 x 1,90	3,04	4	Nordeste	7,50 x 2,45	18,38	10
		3,20 x 1,90	6,08	7				
		2,20 x 1,41	3,10	10				
		2,20 x 0,90	1,98	4				
1	Sudoeste	4,60 x 1,90	8,74	8	Nordeste	7,50 x 2,45	18,38	9
		4,65 x 1,90	8,84	3		6,00 x 2,45	14,70	1
		1,80 x 1,90	3,42	4		4,55 x 1,90	8,65	2
		3,20 x 1,90	6,08	4		7,85 x 2,45	19,23	1
		2,20 x 1,41	3,10	10		0,80 x 0,40	0,32	2
Térreo	Sudoeste	1,00 x 1,00	1,00	16	Nordeste	7,45 x 2,50	18,63	1
		1,50 x 1,20	1,80	2		34,70 x 1,20	41,64	1
		4,60 x 3,60	16,56	2		32,00 x 1,20	38,40	1
		2,20 x 1,41	3,10	6		2,15 x 2,15	4,62	1
						1,65 x 2,15	3,55	1
						2,00 x 2,15	4,30	1

Tabela 8 Aberturas Bloco -C

Fonte: autoria própria

A fachada sudoeste (Figura 21) é próxima ao edifício adjacente (bloco B), também pertencente ao conjunto do Biênio onde estão alocadas áreas administrativas e salas pertencentes ao departamento de Engenharia de Produção, além dessas, outras edificações próximas também interagem com a fachada como o Bloco D1 do conjunto de engenharia de produção e o edifício do centro de computação eletrônica.

A fachada possui janelas com dimensões mais variadas e não utiliza brises como faz a fachada oposta, principalmente por estar ligada à corredores, áreas de fluxo transitório, e por estar abrigada por outras edificações.



*Figura 21 Fachada sudoeste
Fonte: autoria própria*

As fachadas noroeste e sudeste possuem área bastante reduzida em relação as demais e não possuem aberturas.

O edifício em sua maioria é pintado de branco, mas apresenta pintura desgastada e amarelada pela falta de manutenção. Outro ponto que pode ser ressaltado ligado à falta de manutenção é a limpeza das janelas que se apresentam extremamente empoeiradas em sua face externa, o que em muitos casos impacta na forma como a luz solar atinge os ambientes.

As paredes são compostas de tijolos maciços com revestimento de argamassa totalizando uma espessura de aproximadamente 30cm.

A cobertura (Figura 22) é por laje de concreto com espessura de 12 cm sendo que para direcionamento de águas fluviais são utilizadas telhas de fibrocimento afastadas da laje por distâncias de 90cm a 45cm devido às inclinações, as telhas não são pintadas e, portanto, apresentam cor cinza. O edifício possuí uma extensão de cerca de 90 cm da cobertura sobre o plano de todas suas fachadas responsável pela sombra sobre si mesmo. Na fachada nordeste o pavimento térreo também possuí um recuo de 1,10 m em relação aos demais.



Figura 22 Cobertura (Bloco C)
Fonte: Google Earth, 2017

5.2.2 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação do edifício é todo composto por lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 120 cm dispostas em duas em luminárias do tipo calha não embutidas, sendo algumas dessas com aletas e outras sem.

Abaixo segue um quadro com as propriedades das lâmpadas identificadas no levantamento técnico do edifício, obtidas nos catálogos de seus respectivos fabricantes, tais lâmpadas não possuem uma disposição no edifício determinada para cada fabricante, variação devido às possíveis reposições ao longo do tempo:

Fabricante	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de cor (K)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Philips	32	2700	4100	84
Osram	32	2700	4000	84
General Electric	32	2950	4100	92

Tabela 9 Lâmpadas do sistema de iluminação (Bloco C)
Fonte: autoria própria

As salas de aula, lugares de permanência da edificação, são em sua maioria iluminadas por conjuntos de 9 luminárias com duas lâmpadas cada divididas em três fileiras, sendo o acionamento de todo conjunto por um único interruptor próximo a

porta (Figura 23). Algumas salas com dimensões parecidas com as demais são iluminadas por um conjunto de 12 luminárias não se sabe o motivo.



Figura 23 Sistema de iluminação de salas de aula (Bloco C)
Fonte: autoria própria

Os corredores possuem luminárias dispostas paralelamente às janelas com uma disposição diferente no térreo e hall de entrada (Figuras 24 e 25).



Figura 24 Sistema de iluminação dos corredores (Bloco C)
Fonte: autoria própria



Figura 25 Sistema de iluminação do hall de entrada (Bloco C)
Fonte: autoria própria

A única exceção ao tipo de lâmpada utilizada no edifício ocorre na área da lanchonete no térreo que possuí luminárias tipo Plafon com slots para 4 lâmpadas fluorescentes mini espiral de 25W cada (Figura 26).

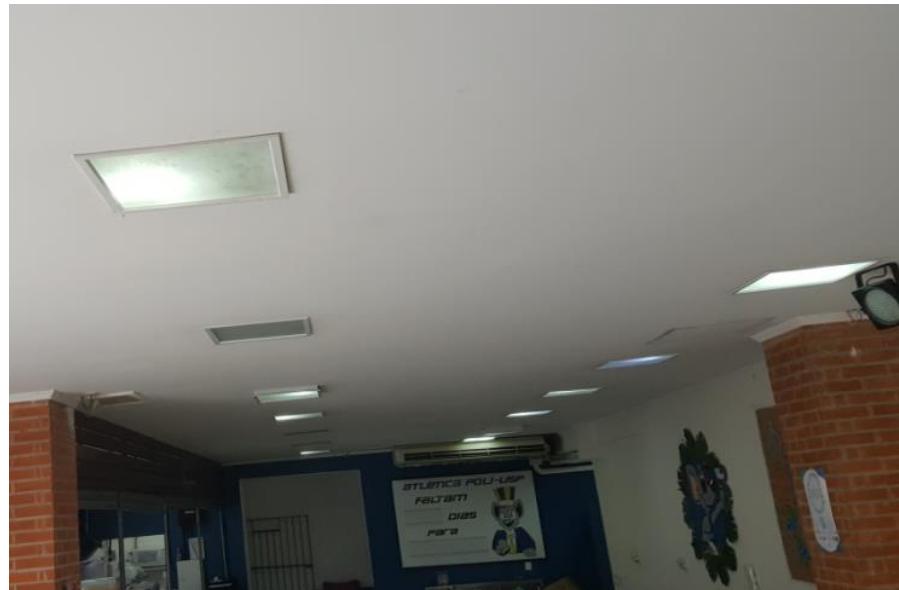


Figura 26 Sistema de iluminação Lanchonete (Bloco C)
Fonte: autoria própria

Durante o levantamento também se notou a presença de lâmpadas queimadas ou não funcionando possivelmente por falta de manutenção ou reposição, para o presente trabalho essas lâmpadas foram consideradas como operantes.

Segue quantificação do sistema de iluminação levantado em campo uma vez que o projeto de arquitetura ao qual se teve acesso não contempla projeto luminotécnico:

Pavimento	Luminárias	lâmpadas	Tipo de lâmpada	Potência instalada
Lanchonete	34	68	Mini espiral 25 W	1700 W
Térreo	134	268	T8 32 W	8576 W
Primeiro	154	308	T8 32 W	9856 W
Segundo	128	256	T8 32 W	8192 W
Total	450	900		28324 W

Tabela 10 Quantificação do sistema de iluminação (Bloco C)

Fonte: autoria própria

Por fim, com acesso ao cronograma de reservas de salas e conversa com os funcionários do prédio foi possível identificar um período diário de funcionamento das lâmpadas médio de 10 horas com uma ocupação das salas de cerca de 70% que ocorre apenas em dias úteis.

5.2.3 Sistema de ar condicionado

O sistema de ar condicionado do edifício é composto basicamente por equipamentos do tipo Split Piso-Teto, sendo esse o sistema utilizado nas salas de aula, principal demanda da edificação. Outras áreas menores como sala de curso de idioma no térreo e do Grêmio no primeiro pavimento utilizam alguns equipamentos do tipo Janela. Demais áreas do edifício como corredores, hall e depósitos não possuem sistema de condicionamento de ar.

Em cada uma das salas de aula constam 2 equipamentos de ar condicionado individuais, resultando em um total de 48 equipamentos do tipo Split.

O modelo utilizando no sistema das salas de aula é da marca Midea (unidade externa modelo MPC1-48 CR V2 e interna MPE1-48 CR V2), descrito no arranjo abaixo conforme manual do fabricante (Figura 27).

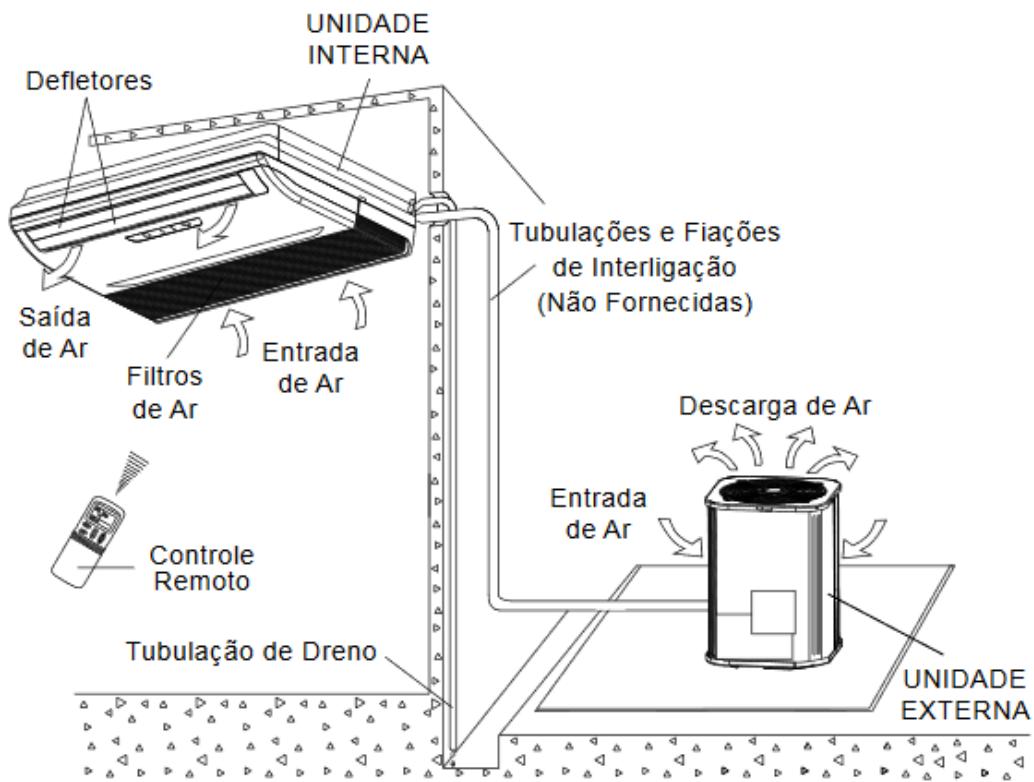


Figura 27 Sistema de condicionamento de ar Midea

Fonte: Manual Midea MPC1-48 CR V2/MPE1-48 CR V2

As unidades evaporadoras são instaladas no teto logo acima das janelas (Figura 27), enquanto as unidades condensadoras são alocadas em estrutura na cobertura do edifício (Figura 28).

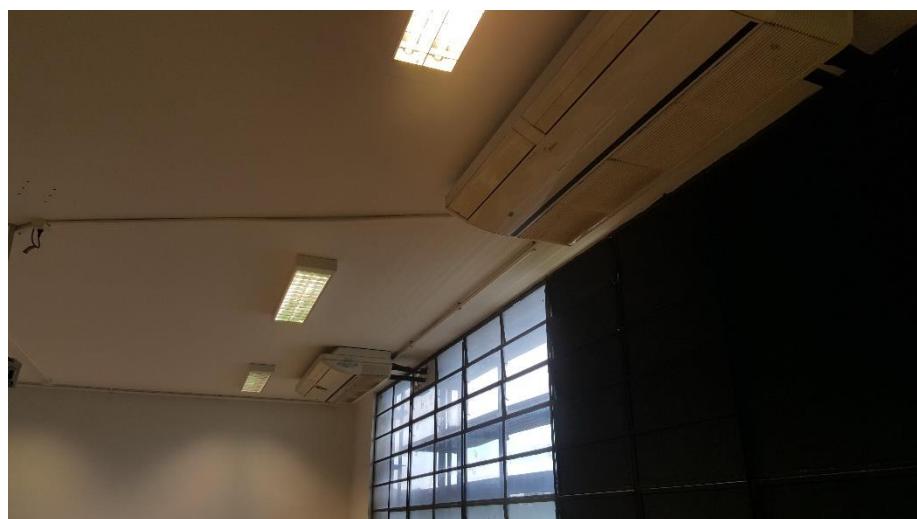


Figura 28 Sistema de condicionamento de ar – unidades evaporadoras

Fonte: autoria própria



Figura 29 Sistema de condicionamento de ar – unidades condensadores

Fonte: autoria própria

Os equipamentos são avaliados em eficiência energética pelo INMETRO com as respectivas ENCEs nas quais são classificados como C (Figura 30). A etiqueta também mostra a capacidade de refrigeração (48.000 BTU/h) e o consumo de energia (104,9 KWh/mês, considerando operação de 1 hora por dia por mês).

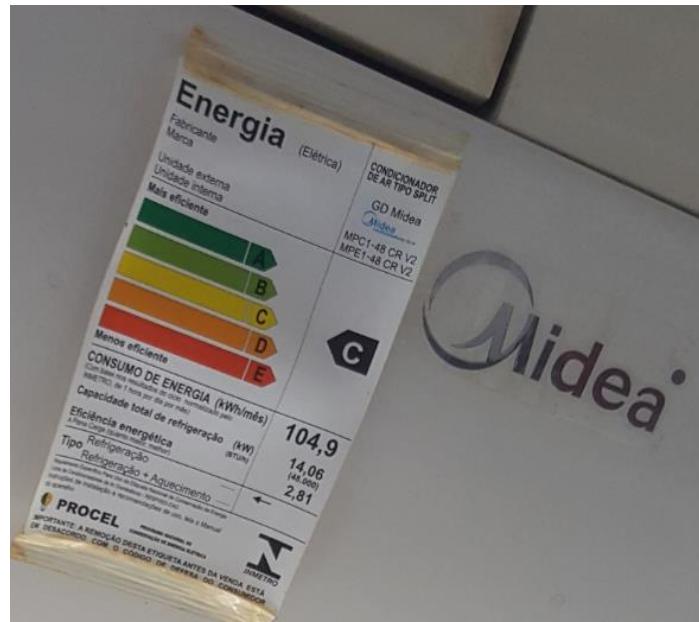


Figura 30 ENCE aparelho de ar condicionado Split

Fonte: autoria própria

No edifício também foram identificados 6 equipamentos de ar condicionado do tipo Janela da marca Elgin (modelo ERF – 21000), classificados também como C pela

ENCE-INMETRO (capacidade 21.000 BTU/h e consumo de energia de 52,7 KWh/mês, considerando operação de 1 hora por dia por mês) (Figura 31).



Figura 31 Sistema de condicionamento de ar tipo janela

Fonte: autoria própria

6 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Com isso, aplica-se ao edifício proposto como estudo de caso a metodologia do RTQ-C descrita no ítem 4 do presente texto utilizando das informações obtidas no levantamento técnico (ítem 5.2), com o objetivo de um enquadramento do edifício pela ENCE (etiqueta nacional de conservação de energia).

6.1 Envoltória

6.1.1 Pré-requisitos específicos

6.1.1.1 Transmitância térmica

Como recomendado no RTQ-C para identificação da transmitância térmica da cobertura e paredes do edifício utilizou-se como diretriz a ABNT NBR 15220-2 (Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações), principalmente pela impossibilidade de realizar ensaios em campo devido a inacessibilidade à cobertura do edifício.

i. Cobertura

Os pré-requisitos relativos a transmitância térmica da cobertura são divididos em ambientes condicionados artificialmente e não condicionados, no caso em estudo ambos possuem cobertura composta por laje, telhas de fibrocimento e câmara de ar entre elas, considerada como não ventilada devido à ausência de aberturas para ventilação.

A diferença entre a cobertura dos ambientes condicionados artificialmente e não condicionados é devida unicamente pela maior espessura da câmara de ar no caso dos ambientes não condicionados (Figura 32). Contudo na metodologia de cálculo proposto na NBR 15220-2, essa diferença não impacta em valores numéricos de transmitância térmica distintos, já que ambas espessuras de câmara de ar encontram-se no limite superior das especificações que definem a resistência térmica (maior que 5 cm) (Tabela 11).

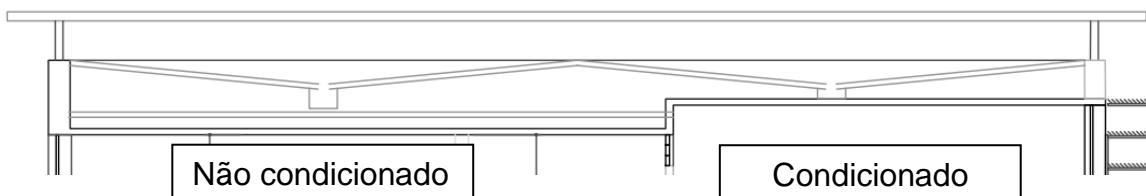


Figura 32 Detalhe em corte - cobertura (Bloco C)

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2 \cdot K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇒	↑	↓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61
NOTAS				
1 ε é a emissividade hemisférica total.				
2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.				
3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.				
4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.				

Tabela 11 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Fonte: NBR 15220 Parte 2 (2005)

Sendo então Resistência térmica (R_t) definida por:

$$R_t = \frac{e \text{ (espessura)}}{\lambda \text{ (condutividade térmica)}}$$

Para a câmara de ar, resistência térmica ($R_{t,ar}$) = $0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, considerando uma espessura de câmara média de 30 cm (condicionados artificialmente) ou 45 cm

(não condicionados artificialmente). (Tabela B1 da ABNT- NBR 15220-2, superfície de alta emissividade, fluxo descendente).

$$Rt \text{ fibrocimento} = \frac{0,008}{0,65} = 0,0123 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$Rt \text{ laje} = \frac{0,12}{1,75} = 0,068571 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Obtemos

$$Rt \text{ Cobertura} = Rt \text{ fibrocimento} + Rt \text{ ar} + Rt \text{ Laje}$$

$$Rt \text{ Cobertura} = 0,0123 + 0,210 + 0,0686 = 0,291 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Com isso, utilizando-se da Tabela 12, obtém-se a resistência térmica total de ambiente a ambiente, somando-se à Rt Cobertura as resistências térmicas superficiais recomendadas, interna (Rsi) e externa (Rse):

$$Rt \text{ TOTAL} = Rsi + Rt \text{ Cobertura} + Rse$$

$$Rt \text{ TOTAL} = 0,170 + 0,291 + 0,040 = 0,501 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

R_{si} (m ² .K)/W			R_{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑ —	— ↓ —	⇒	— ↑ —	— ↓ —
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Tabela 12 Resistência térmica superficial interna e externa
Fonte: NBR 15220 Parte 2 (2005)

Como a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) é obtida pelo inverso da resistência térmica total, chega-se a:

$$U \text{ cob} = \frac{1}{Rt \text{ TOTAL}} = \frac{1}{0,501} = 1,996 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Tal valor de U cob de acordo com os parâmetros estabelecidos nos pré-requisitos no RTQ-C permite ao edifício uma classificação máxima de Nível C no item envoltória.

ii. Paredes

Utilizando da mesma metodologia adotada na cobertura, calcula-se a transmitância térmica das paredes compostas por alvenaria de tijolos maciços (5,0 cm x 12,5 cm x 25,0cm) e revestimento de argamassa de 2,5 cm de espessura em cada face.

Seção 1 (revestimento + argamassa + revestimento):

$$\text{Área 1} = 0,125 \times 0,01 + 0,06 \times 0,01 = 0,00185 \text{ m}^2$$

$$Rt \text{ 1} = \frac{e \text{ (rev)}}{\lambda \text{ (rev)}} + \frac{e \text{ (arg)}}{\lambda \text{ (arg)}} + \frac{e \text{ (rev)}}{\lambda \text{ (rev)}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,25}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,261 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Seção 2 (revestimento + tijolo + revestimento):

$$\text{Área 2} = 0,125 \times 0,05 = 0,00625 \text{ m}^2$$

$$Rt \text{ 2} = \frac{e \text{ (rev)}}{\lambda \text{ (rev)}} + \frac{e \text{ (tijolo)}}{\lambda \text{ (tijolo)}} + \frac{e \text{ (rev)}}{\lambda \text{ (rev)}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,25}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,321 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Com isso, a resistência térmica da parede (Rt parede) será:

$$Rt \text{ parede} = \frac{A1 + A2}{A1/R1 + A2/R2} = \frac{0,00185 + 0,00625}{0,00185/0,261 + 0,00625/0,321} = 0,305 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Portanto

$$Rt\ TOTAL = Rsi + Rt\ parede + Rse$$

$$Rt\ TOTAL = 0,13 + 0,305 + 0,04 = 0,475\ m^2 \cdot K/W$$

Chegando-se à transmitância térmica das paredes externas (Upar):

$$U\ par = \frac{1}{Rt\ TOTAL} = \frac{1}{0,475} = 2,105\ W/(m^2 \cdot K)$$

Tal valor de transmitância não impõe restrições ao nível de eficiência nesse pré-requisito uma vez que o limite para o nível A relativo a Upar é 3,7 W/(m².K).

6.1.1.2 Cores e absorção de superfície

Para identificação dos valores ideais de absorção solar das superfícies opacas o RTQ-C recomenda o uso como referência de Dornelles (2008) e também da NBR 15220, assim como para o cálculo da transmitância térmica.

Para as paredes do edifício em estudo revestidas de argamassa e pintadas de branco, as duas referências apontam para diversos valores de absorção mas nenhum superior à 50% (valor limite para edifícios de nível A).

Entretanto, para cobertura de fibrocimento, Dornelles (2008) aponta pesquisas que classificam essas superfícies com valores de α não inferiores a 60% o que, de acordo com os pré-requisitos do RTQ-C, não permite uma classificação na categoria envoltória superior ao Nível C (limite de 50% para níveis A e B).

O RTQ-C também estabelece pré-requisitos para iluminação zenithal os quais não se aplicam ao edifício em estudo.

6.1.2 Determinação da Eficiência

Os seguintes fatores são necessários à determinação da eficiência energética do sistema de envoltória:

i. FA – Fator de altura

Razão entre a área de projeção da cobertura e área total construída:

$$FA = \frac{Apcob}{Atotal} = \frac{1626,42\ m^2}{4978,54\ m^2} = 0,327$$

ii. FF – Fator de Forma

Razão entre a área de envoltória e o volume total da edificação

$$FF = \frac{Aenv}{Vtotal} = \frac{5000,58\ m^2}{20755,888\ m^3} = 0,241$$

iii. FS – Fator Solar

Razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura.

A principal recomendação do RTQ-C para obter esse parâmetro é a consulta ao manual do fornecedor, entretanto como não foi possível no levantamento técnico ter acesso a tal documento, utiliza-se como referência Santos e Roriz 2012, que define por experimentação para o vidro comum, incolor, sem tratamento superficial, de 4mm de espessura identificado em campo o valor de FS de 0,86.

$$FS = 0,860$$

MATERIAL	COR	GRUPO	ESPESSURA (mm)				
			2 FS	4 FS	6 FS	8 FS	10 FS
VIDROS COMUNS	Incolor	1	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81
	Verde	1	0,81	0,74	0,68	0,63	0,59
	Bronze	1	0,81	0,73	0,68	0,63	0,59
	Cinza	1	0,79	0,71	0,64	0,59	0,55
	Azul	1	0,76	0,67	0,60	0,55	0,51
POLICARBONATOS	Incolor	1	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80
	Verde	1	0,83	0,79	0,76	0,72	0,69
	Bronze	1	0,78	0,71	0,65	0,60	0,56
	Cinza	1	0,73	0,63	0,56	0,50	0,46
	Azul	1	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
ACRÍLICO INCOLOR		1	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85

Tabela 13 Fator solar normal (FSnormal) para materiais homogêneos – vidros comuns, policarbonatos e acrílico

Fonte: (SANTOS E RORIZ, 2012)

iv. PAFT -Percentual de área de abertura na fachada total

Razão entre as áreas de abertura envidraçada e a área total de fachada do edifício. Para tal cálculo utiliza-se da tabela 8, considerando-se que no levantamento observou-se que caixilhos ocupam cerca de 10% da área das aberturas e que os brises da fachada nordeste ocupam 20% em projeção vertical das janelas em que estão instalados.

$$PAFT = \frac{A_{aberturas}}{A_{total\ de\ fachada}} = \frac{713,823\ m^2}{3374,160\ m^2} = 0,212$$

v. PAFO -Percentual de área de abertura na fachada oeste

Razão entre as áreas de abertura envidraçada e a área total da fachada oeste.

$$PAFO = \frac{A_{aberturas\ oeste}}{A_{fachada\ oeste}} = \frac{297,393\ m^2}{1827,569\ m^2} = 0,163$$

De acordo com o RTQ-C, como $1,2 \times PAFT > PAFO$, utiliza-se PAFT no equacionamento.

vi. AVS – Ângulo vertical de sombreamento

Ângulo representativo do efeito de proteção solares horizontais sobre as aberturas. Existem no edifício dois casos de proteção solar horizontal. Um é dado pelos brises perpendiculares à fachada nas janelas das salas de aula e outro é dado pelo autossombreamento do edifício no primeiro pavimento sobre o térreo, ambos na fachada nordeste.

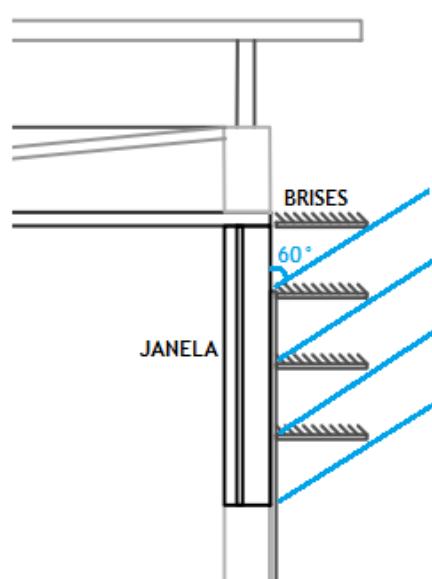


Figura 33 Ângulo de sombreamento - Brises

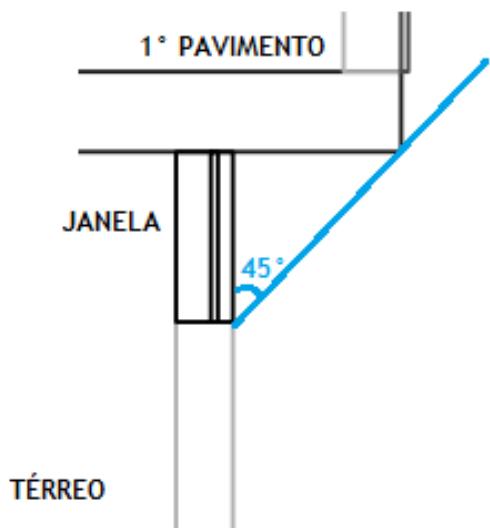


Figura 34 Ângulo de sombreamento - autossombreamento

Nos brises o ângulo obtido é 60º (Figura 33) e no autossombreamento das aberturas no térreo o ângulo é 45º (Figura 34). Ponderando-se os ângulos verticais de sombreamentos pelas áreas de suas respectivas aberturas obtém-se o AVS do edifício:

$$AVS = \frac{AVS1 \times A1 + AVS2 \times A2}{A_{aberturas}} = \frac{60^\circ \times 327,445 + 45^\circ \times 72,036}{713,823} = 32^\circ$$

O RTQ-C também considera o **AHS – ângulo de sombreamento horizontal**, o qual é nulo no edifício em estudo pelo mesmo não possuir proteções solares verticais em suas aberturas.

vii. IC env – Indicador de consumo de envoltória

Indicador utilizado como parâmetro de comparação com o objetivo de classificar a envoltória do edifício em eficiência energética de acordo com o RTQ-C.

$$IC_{env} = -14,14 \times FA - 113,94 \times FF + 50,82 \times PAFt + 4,86 \times FS - 0,32 \times AVS \\ + 0,26 \times AHS - 35,75 \div FF - 0,54 \times PAFt \times AHS + 277,98$$

$$IC_{env} = -14,14 \times 0,327 - 113,94 \times 0,241 + 50,82 \times 0,212 + 4,86 \times 0,860 - 0,32 \times 32 \\ + 0,26 \times 0 - 35,75 \div 0,241 - 0,54 \times 0,212 \times 0 + 277,98$$

$$IC_{env} = 102,269$$

viii. ICmín e ICmaxD - Indicadores de consumo de envoltória mínimo e máximo

Limites de indicadores máximos e mínimos que estabelecem os intervalos para classificação da envoltória com base na volumetria do edifício proposto. A fórmula de cálculo é a mesmo que de ICenv, entretanto alguns fatores são alterados conforme a tabela 14, obtida do RTQ-C.

IC _{env}	IC _{máx} D	IC _{mín}
A _{pe}	IGUAL	IGUAL
A _{pcob}	IGUAL	IGUAL
A _{tot}	IGUAL	IGUAL
A _{env}	IGUAL	IGUAL
V _{tot}	IGUAL	IGUAL
FA	IGUAL	IGUAL
FF	IGUAL	IGUAL
PAF _T	Alterar para 0,60	Alterar para 0,05
FS	Alterar para 0,61	Alterar para 0,87
AVS	Alterar para 0	Alterar para 0
AHS	Alterar para 0	Alterar para 0

Tabela 14 Comparação de parâmetros nas equações IC
Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C, 2010

$$\begin{aligned}
 ICmín = & -14,14 \times 0,327 - 113,94 \times 0,241 + 50,82 \times 0,05 + 4,86 \times 0,87 - 0,32 \times 0 \\
 & + 0,26 \times 0 - 35,75 \div 0,241 - 0,54 \times 0,05 \times 0 + 277,98 \\
 ICmín = & 104,326
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ICmaxD = & -14,14 \times 0,327 - 113,94 \times 0,241 + 50,82 \times 0,60 + 4,86 \times 0,61 - 0,32 \times 0 \\
 & + 0,26 \times 0 - 35,75 \div 0,241 - 0,54 \times 0,60 \times 0 + 277,98 \\
 ICmaxD = & 131,013
 \end{aligned}$$

6.1.3 Classificação da eficiência.

Com utilização de $ICmín$ e $ICmax$ obtém-se o intervalo (i) para distinção entre os diferentes níveis classificatórios para envoltória de A até E, conforme Tabela 15.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$ICmáxD - 3i + 0,01$	$ICmáxD - 2i + 0,01$	$ICmáxD - i + 0,01$	$ICmáxD + 0,01$
Lim Máx	$ICmáxD - 3i$	$ICmáxD - 2i$	$ICmáxD - i$	$ICmáxD$	-

Tabela 15 Níveis de classificação de envoltória
Fonte: autoria própria com base em manual para aplicação do RTQ-C

$$i = \frac{ICmaxD - ICmín}{4} = \frac{137,562 - 110,875}{4} = 6,671$$

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	111,008	117,680	124,351	131,023
Lim Máx	110,998	117,670	124,341	131,013	-

Tabela 16 Níveis de classificação de envoltória – aplicação ao estudo de caso
Fonte: autoria própria com base em manual para aplicação do RTQ-C

Por fim, com o valor de $ICenv$ igual a 102,269 classificar-se-ia o edifício como de nível A. Entretanto, devido às limitações impostas pelos pré-requisitos específicos, a classificação final do sistema de envoltória do edifício é de nível C.

ENVOLTÓRIA: NÍVEL C

6.2 Sistema de iluminação

6.2.1 Pré requisitos específicos

6.2.1.1 Divisão dos circuitos

Como estabelecido no RTQ-C o edifício em estudo possuí um dispositivo manual de acionamento da iluminação de cada ambiente de forma acessível e em posição que seja possível ver todo o sistema de iluminação controlado, principalmente nas salas de aula onde o dispositivo fica ao lado das portas.

Com isso, nesse pré-requisito o edifício não tem restrição de classificação.

6.2.1.2 Contribuição da luz natural

Os ambientes voltados para o meio externo que contém mais de uma fileira de luminárias paralelas as aberturas, no caso de estudo as salas de aula, não possuem um controle manual de acionamento independente para a fileira de luminárias mais próxima à abertura.

Pelo não cumprimento desse pré-requisito o edifício não poderá obter classificação maior que de nível C.

6.2.1.3 Desligamento automático do sistema de iluminação

Tal pré-requisito estabelece a necessidade de sistema de desligamento automático da iluminação de ambientes maiores que 250m², o qual não se aplica a edificação em estudo.

6.2.2 Determinação da eficiência

Utilizando-se da Tabela 5 na qual o RTQ-C determina os limites para densidade de potência de iluminação para cada uso da edificação e pela respectiva área desses

diferentes usos, que no caso em estudo restringe-se a universidade e lanchonete, é possível obter os limites dos níveis de eficiência energética de acordo com cada potência de iluminação total instalada:

Área Bloco C (universidade): 4.678,54 m²

Área lanchonete: 300,00 m²

NÍVEL A	NÍVEL B	NÍVEL C	NÍVEL D
52970 W	60906 W	68812 W	76747 W

Tabela 17 Potência de iluminação limite por nível de eficiência

Fonte: autoria própria

6.2.3 Classificação da eficiência

A classificação do edifício faz-se então pela verificação do enquadramento da potência total instalada no edifício de 28.324 W (Tabela 10) na tabela de potência de iluminação limite (Tabela 17), na qual o edifício apresenta potência instalada menor que o limite para o nível A (52.970 W).

Entretanto, pela restrição imposto pelos pré-requisitos o nível final de classificação do sistema de iluminação é C.

Ressalta-se que a avaliação de eficiência energética do sistema de iluminação parte da premissa que o sistema está adequado a norma NBR 5413 – Iluminância de interiores. A adequação do sistema à norma e demais observações técnicas a respeito serão abordadas posteriormente no item sobre propostas de melhoria de eficiência energética.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO: NÍVEL C

6.3 Sistema de condicionamento de ar

O RTQ-C especifica apenas um pré-requisito para sistema de condicionamento de ar, o qual é relacionado à espessura mínima para o isolamento das tubulações dos sistemas de refrigeração. O pré-requisito é aplicado apenas para nível de eficiência A. O sistema que não cumpri-lo não poderá ser enquadrado nesse nível. Não foi

possível realizar o levantamento da espessura dos isolantes do sistema em estudo para o presente trabalho pela inacessibilidade, entretanto tal pré-requisito mostra-se desnecessário, uma vez que o sistema não atinge nível A como descrito a seguir:

Sistemas de condicionamento de ar compostos por equipamentos já classificados pela ENCE/INMETRO recebem a mesma classificação desses, sendo necessário uma ponderação quando possuir equipamentos de níveis distintos de eficiência energética.

Portanto, como descrito anteriormente o edifício em estudo tem seu sistema de ar condicionado por equipamentos do tipo Janela e Split classificados todos como de nível C pela ENCE. Com isso, o edifício também recebe nível C nesse subsistema.

Importante ressaltar que o RTQ-C define que o edifícios em que a carga térmica de pico for superior a 350 KW(100TR) o sistema de ar condicionado deverá ser central. Tal restrição é dada como atendida inicialmente e assim como as demais premissas aceitas, serão reavaliadas no item de proposição de melhorias.

SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR: NÍVEL C

6.4 Classificação geral

6.4.1 Pré-requisitos gerais

Existem dois pré-requisitos a serem avaliados antes da classificação geral do edifício. O primeiro trata dos circuitos elétricos, exigindo para que edifícios atinjam os níveis gerais A ou B possuam circuito elétrico separado para cada uso final: condicionamento de ar, iluminação e outros. Entretanto esse pré-requisito é valido apenas para construção realizadas após 2009, o que não é o caso em estudo. Ressalta-se que se não houvesse essa exceção esse pré-requisito não seria cumprido.

Outro pré-requisito para classificação geral trata sobre aquecimento de água, o qual também não se enquadra para o edifício em estudo.

6.4.2 Bonificações

Iniciativas que aumentem a eficiência da edificação podem ser computadas no equacionamento geral para obtenção da ENCE geral como bonificação, sendo necessária a comprovação da economia gerada e a justificativa da iniciativa.

Com isso, contam como bonificação equipamentos que racionalizem o uso da água em 40% no consumo anual do edifício, sistemas ou fonte renováveis de energia e inovações, como por exemplo iluminação natural, que reduzam o consumo de energia em 30% (Tabela 6).

Nenhuma característica pertinente a bonificação é encontrada no edifício em estudo.

6.4.3 Determinação da eficiência geral

Para a determinação da eficiência geral é necessário estipular o equivalente numérico (EqNum) para cada avaliação dos sistemas encontradas com base na Tabela 18:

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Tabela 18 Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)
Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C

Com isso, obtém-se os seguintes equivalentes numéricos para o caso em estudo:

- Envoltória (nível C): EqNumEnv = 3
- Sistema de iluminação (nível C): EqNumDPI = 3
- Sistema de condicionamento de ar (nível C): EqNumCA = 3
- Ventilação Natural: EqNumV não se aplica uma vez que não existem áreas com ambientes não condicionados e de permanência prolongada.

Outros parâmetros também são necessários à classificação:

- AC: Área útil dos ambientes condicionados = 2.269,00 m²
- APT: Área útil dos ambientes de permanência transitória = 2.124,25 m²
- Au: Área útil total = 4.393,25 m²

Por fim, esses parâmetros são incluídos na equação abaixo com o objetivo de ponderá-los para a obtenção da pontuação total (PT) do edifício:

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

$$PT = 0,30 \left\{ \left(3 \times \frac{2.269}{4.393,25} \right) + \left(\frac{2.124,25}{4.393,25} 5 + \frac{0}{4.393,25} \times EqNumV \right) \right\} + 0,30(3) + 0,40 \left\{ \left(3 \times \frac{2.269}{4.393,25} \right) + \left(\frac{2.124,25}{4.393,25} 5 + \frac{0}{4.393,25} \times EqNumV \right) \right\} + 0$$

$$PT = 3,677$$

6.4.4 Classificação da eficiência geral

Como etapa final do processo de classificação da eficiência energética do edifício pelo método do RTQ-C, compara-se a pontuação total obtida com a tabela de classificação final (Tabela 7). Com isso, o edifício proposto como estudo de caso obtém ENCE final de nível B.

CLASSIFICAÇÃO GERAL: NÍVEL B

7 PROPOSTAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Cumprida a etapa de avaliação das condições atuais de eficiência energética no edifício em estudo, propõe-se melhorias nas tecnologias identificadas com o objetivo de obter um melhor resultado em nível de eficiência de acordo com a mesma metodologia utilizada para avaliação.

Com isso, a proposição de melhorias seguirá a mesma segmentação utilizada na avaliação: sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Basear-se-ão em itens que visem atender os pré-requisitos propostos no RTQ-C e na melhora dos índices obtidos nas equações de determinação da eficiência energética.

Nos itens que seguem também serão apontados alguns pontos pertinentes ao cumprimento das respectivas normas técnicas nos subsistemas avaliados. Reitera-se que o atendimento às normas não é incluído na metodologia proposta no RTQ-C, sendo tomado como premissa esse atendimento. Com isso, na avaliação descrita possíveis não conformidades podem ter sido bem avaliadas no que diz respeito à eficiência energética.

7.1 Envoltória

Como calculado anteriormente, podemos concluir que a envoltória conseguiria atingir um nível de classificação melhor se não fosse o resultado obtido na cobertura. O resultado das paredes quanto a resistência térmica foi satisfatório, isso devido às suas grandes espessuras por ser um edifício antigo inclusive, chegando a um valor de transmitância térmica das paredes externas sem restrições ao nível de eficiência, sendo, portanto, classificado como Nível A. Por outro lado, quando calculada a transmitância térmica da cobertura composta por laje, telhas de fibrocimento e câmara de ar entre elas, concluimos que o valor permite que o edifício tenha uma classificação máxima de Nível C quanto a envoltória.

Como uma alternativa para diminuir os efeitos negativos das condições atuais da cobertura quanto à transmitância térmica, será proposto a instalação de cobertura verde (também denominado de telhado/teto verde, cobertura vegetal ou jardim suspenso), que vem sendo muito aplicada atualmente, principalmente em grandes

cidades, onde o aumento das construções diminuiu drasticamente a área verde. O telhado verde é um sistema construtivo caracterizado por uma cobertura feita com grama ou plantas. É instalado em lajes ou sobre telhados convencionais e consiste em camadas de impermeabilização e de drenagem, as quais recebem o solo e a vegetação indicada para o projeto. Além dos benefícios para estética e qualidade do ar, os telhados verdes funcionam como isolantes térmicos nas coberturas das edificações, que para o caso em estudo é o objetivo principal. (HENEINE, 2008)

O teto verde pode reduzir a energia necessária para a manutenção de climas internos porque a vegetação intercepta e dissipala radiação solar. Embora ele seja inicialmente mais caro de construir do que os telhados convencionais, eles podem ser mais econômicos ao longo da vida útil do sistema cobertura, por causa da redução no consumo de energia e à longevidade dos componentes do telhado. (OBERNDORFER, 2007)

As coberturas verdes podem ser classificadas como extensivas ou intensivas. Resumidamente a diferença está no tamanho da vegetação. Enquanto a extensiva possui plantas menores, mais simples e resistentes, as intensivas possuem plantas de maior porte e requerem um melhor sistema de irrigação e manutenção, tornando-a mais caras. Para o edifício em estudo neste projeto, propomos a implementação da vegetação extensiva. (FREITAS, 2010)

Para a instalação do sistema existem alguns métodos que exigem uma certa complexidade, mas que devem ser seguidos à risca, uma vez que a estrutura deve ser totalmente impermeável. Como pode-se observar na Figura abaixo estão as etapas indispensáveis para a implementação da cobertura verde.

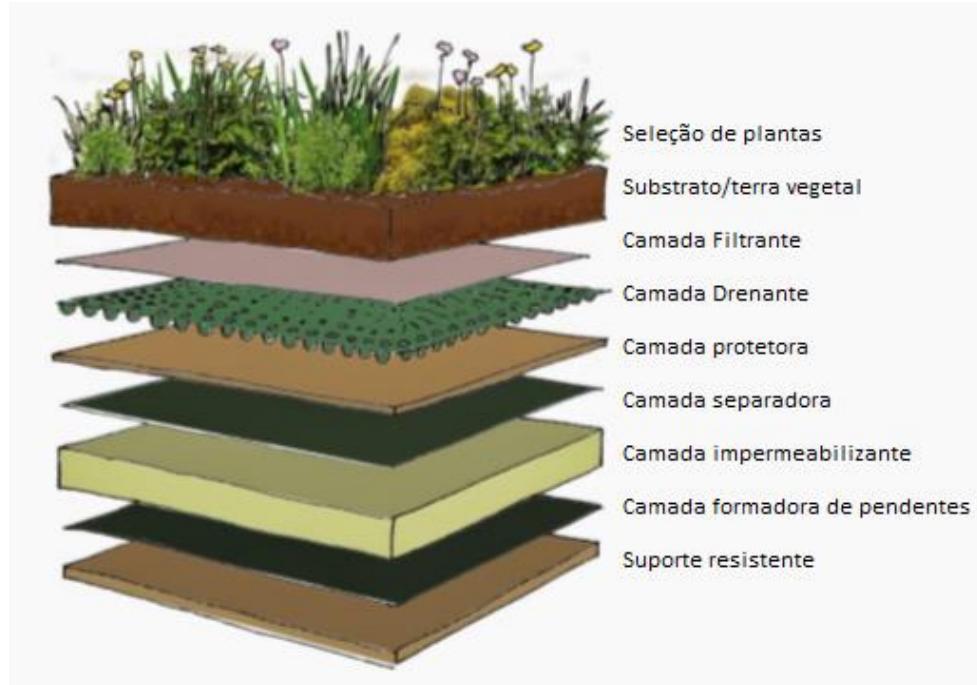


Figura 35 Camadas para implementação da cobertura verde.

Fonte: (MOISES, 2017)

O suporte resistente da figura seria a cobertura atual do edifício em estudo, que deve ter capacidade de suportar a carga permanente aplicada sobre ele de todo o restante do sistema, além de cargas accidentais, representadas por possíveis movimentação de pessoas caso seja um ambiente de livre acesso e/ou pessoas e maquinários de manutenção. As demais camadas têm funções de canalizar o fluxo da água infiltrada para os sistemas de drenagem, limitar o crescimento das raízes para não perfurar outras camadas, isolar termicamente para aumentar a dissipação do calor e até mesmo reter água suficiente para a nutrição da vegetação. (MOISES, 2017)

Com a implementação do telhado verde, reduz-se o consumo de energia para o resfriamento do ambiente com ar condicionado. Como dito anteriormente, o jardim suspenso tem um alto investimento inicial, mas com grandes retornos ao médio e longo prazo. Além de esse sistema amenizar a absorção calor do edifício, ele também restringe a perda de calor, o que torna ainda mais atrativo para condições de clima mais frio inclusive. (OBERNDORFER, 2007)

Um estudo de simulações de consumo energético com a implementação de teto verde no Museu de Arte de São Paulo (MASP), localizado na Avenida Paulista, mostra a eficiência desse sistema comparado ao edifício atual. A conclusão foi que a

quantidade de calor diminuiu, reduzindo o consumo de energia para resfriamento interno. O resultado foi de uma redução de 0,94% em todo o edifício e de 2,20% se analisado apenas o segundo pavimento, que é o pavimento mais próximo da cobertura. Analogamente podemos compará-lo ao edifício em estudo, onde teríamos uma redução maior do consumo de energia para refrigeração do 2º pavimento, uma redução menor no 1º pavimento e menor ainda no térreo. Vale ressaltar que uma análise de custo de implementação versus o período de retorno do investimento é o fator mais importante quando estudada a viabilidade de implementação. (OLMI, 2015)

7.2 Sistema de iluminação

O sistema de iluminação da edificação foi avaliado como de nível C. Entretanto, tal avaliação apenas ocorreu devido ao não cumprimento do pré-requisito de contribuição de iluminação natural, uma vez que a determinação da eficiência pela densidade de potência de iluminação instalada permitiria a classificação como de nível A.

Com isso, a principal proposta para obtenção do nível A mostra-se a instalação de um sistema em cada ambiente que permita a melhor utilização da luz natural por meio do acionamento independente por fileiras de luminárias paralelas à abertura, ou ao menos o acionamento independente da fileira mais próxima à abertura. Tal sistema não exigiria um grande investimento e não demandaria grande tempo para instalação, mostrando-se como uma proposta bastante simples que levaria o nível desse sistema na ENCE de C para A, o que inclusive impactaria no nível final da edificação.

Entretanto, após a determinação da eficiência do sistema de iluminação do edifício em estudo pelo comparativo entre a potência do sistema instalado e a tabela de determinação do nível proporcionada pela RTQ-C (Tabela 17), notou-se que o edifício teve avaliação como de nível A mas que a potência instalada (28.324 W) ficou significativamente inferior o limite determinado pelo RTQ-C para o nível A em edificações com o mesmo uso do estudo de caso (52.970 W). A partir disso, mostra-se questionável se o atual sistema atende as normas de desempenho, principalmente a ABNT NBR ICO/CIE 8995-1 2013 Iluminação de ambientes de trabalho.

Para tal avaliação utilizou-se de simulação computacional uma vez que permite bem como a verificação do sistema atual como possíveis projetos de retrofit para atendimento dos requisitos, sem que seja necessário um processo de tentativa e erro, já que diversos parâmetros como reflectância de pisos e teto, por exemplo, são de difícil determinação analítica.

Ressalta-se que o edifício em estudo de caso é pouco utilizado no período noturno, ocorrendo as aulas principalmente durante a manhã e à tarde. Entretanto, tal período é utilizado em caso esporádicos e pode também ser utilizado no futuro, o que faz necessário o atendimento às normas de desempenho nessas condições mais adversas, sem contribuição de iluminação natural.

Para a simulação e cálculo luminotécnico utilizou-se do software AGI132, sendo modelada apenas uma sala de aula pois as mesmas são bastante parecidas entre si e a simulação do edifício como um todo fugiria ao escopo do presente trabalho. A sala simulada possui 76,80 m² com 8 m de largura e 9,6 m de comprimento, sendo iluminada por um conjunto de 9 luminárias (2 lâmpadas cada) distribuídas em três fileiras.

A primeiro objetivo da simulação, portanto, é verificar o atendimento aos requisitos de desempenho de iluminação para as condições atuais da edificação, os critérios mais relevantes da ABNT NBR ICO/CIE 8995-1 2013 para áreas de trabalho em escolas/universidades com salas de aula de arranjo flexível são:

Iluminância	Uniformidade
Em=500 lux	U1=0,6

*Tabela 19 Requisitos de desempenho
Fonte: NBR 8995-1 2013*

Com isso, por meio da modelagem e simulação, pode-se observar que a atual configuração não atende os requisitos de desempenho, mesmo não considerando-se a possível depreciação do sistema:

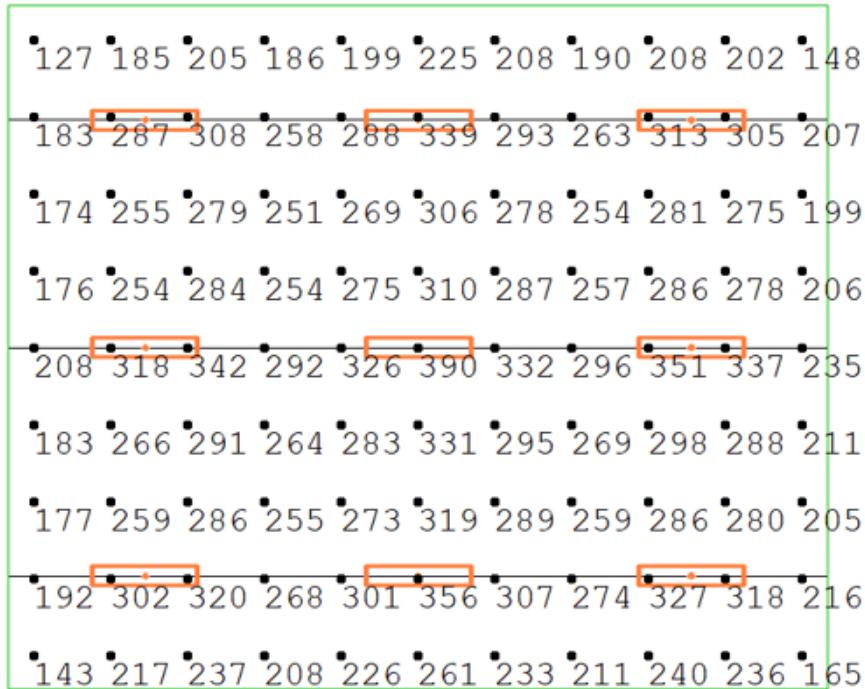


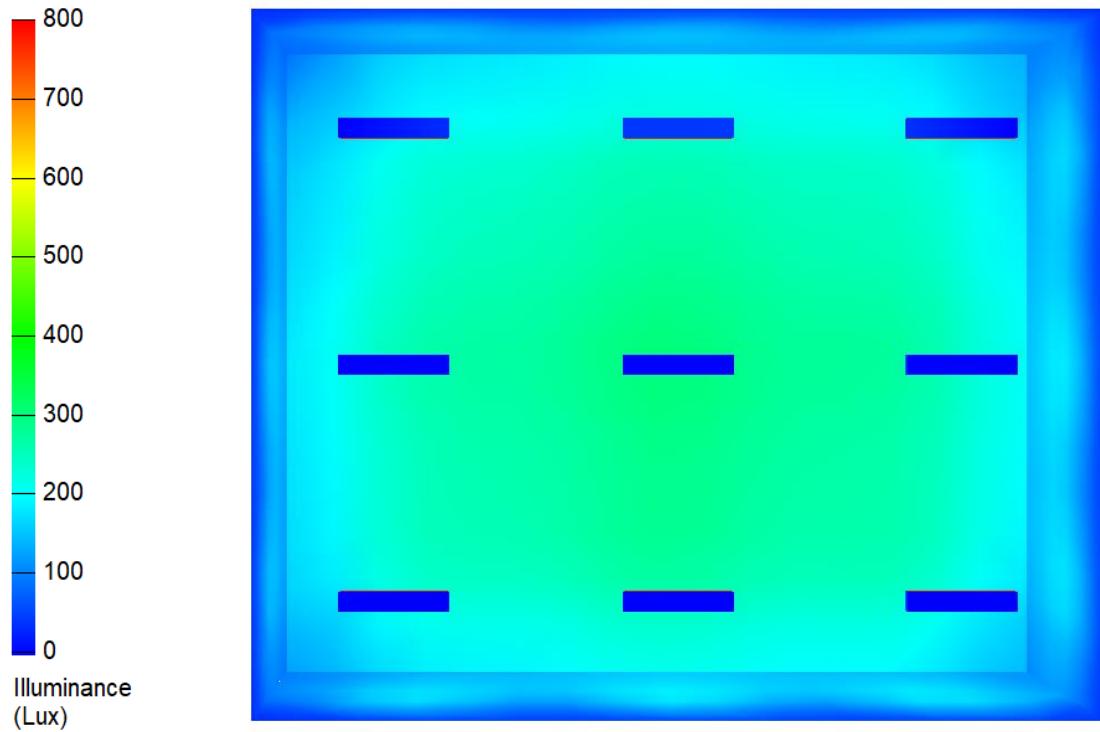
Figura 36 Distribuição de iluminância pelo ambiente
Fonte: AGI 132

Illuminância	Uniformidade
Em=259 lux	U1=0,49

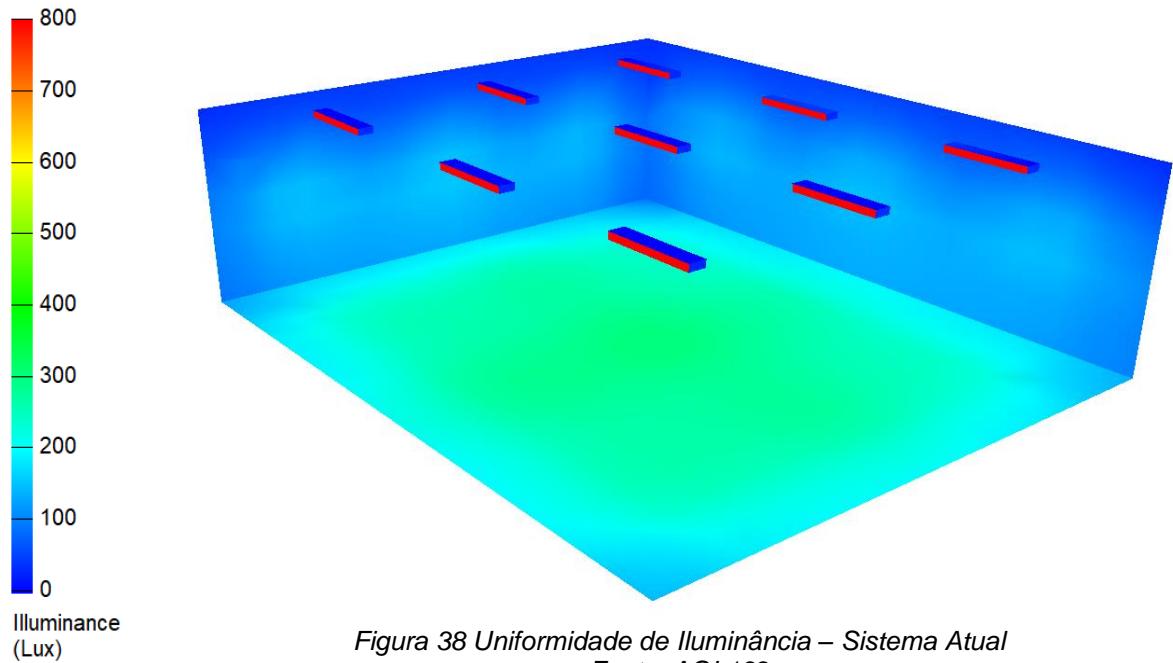
Tabela 20 Resultados obtidos - Sistema Atual
Fonte: AGI 132

O desempenho ruim do sistema de iluminação pode ser explicado principalmente pelo sub dimensionamento da potência das lâmpadas escolhidas e pelas características das luminárias utilizadas que permitem que grande parte do fluxo luminoso seja perdido, por exemplo, pelas aletas.

Ressalta-se que além da iluminância, a uniformidade do sistema também não atendeu a norma.



*Figura 37 Uniformidade de Iluminância – Sistema atual
Fonte: AGI 132*



*Figura 38 Uniformidade de Iluminância – Sistema Atual
Fonte: AGI 132*

Visando unicamente a eficiência energética e a classificação pela ENCE, poder-se-ia, portanto, sugerir a troca do sistema de lâmpadas fluorescentes por módulos de LED que permitiriam que as mesmas condições fossem cumpridas com uma potência final instalada no sistema de iluminação menor.

Contudo, visa-se uma solução que atenda aos requisitos e a boa classificação pela ENCE mas também o cumprimento das normas de desempenho. Com isso, abaixo é descrita uma sugestão de solução para o sistema de iluminação do edifício.

Apenas o aumento da quantidade de luminárias geraria um número excessivo de lâmpadas, chegando a uma solução pouco inteligente. Com isso, com algumas iterações da simulação no modelo, optou-se pela troca das luminárias e das lâmpadas, aumentando-se apenas três pontos.

Após consulta ao mercado existente, como exemplo, utiliza-se como solução o conjunto Módulo Linear Light Bar com lâmpadas de LED da marca GE, pelo código da tabela descritiva é possível consultar o manual do fabricante.

Esse conjunto possui uma luminária muito mais eficiente além do módulo de LED que permite uma potência de iluminação maior com o mesmo consumo de energia, quando comparada aos modelos fluorescentes.

Código	Potência (W)	Tensão (V)	TCC (K)	Fluxo (Lm)
92149	44	100-277	4000	4800
IRC	Dimensão (mm)	Fator de Potência	Grau de Proteção	Vida Útil
80	1217 x 56,2 x 53,8	0,9	IP20	50.000 horas

*Tabela 21 Datasheet Modulo Linear Light Bar
Fonte: Manual do fabricante*



*Figura 39 Módulo Linear Light Bar
Fonte: Manual do fabricante*

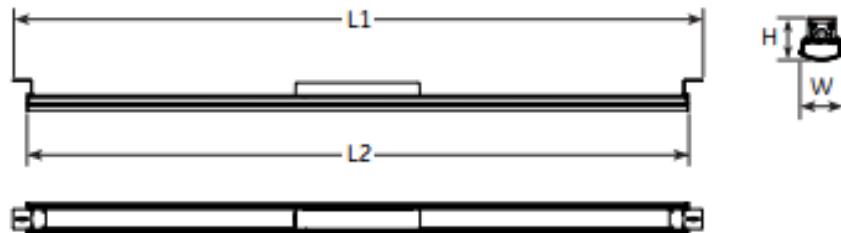


Tabela 22 Dimensões do módulo linear Light Bar

Fonte: Manual do fabricante

Com tais soluções, chegou-se ao seguinte resultado na simulação de iluminância:

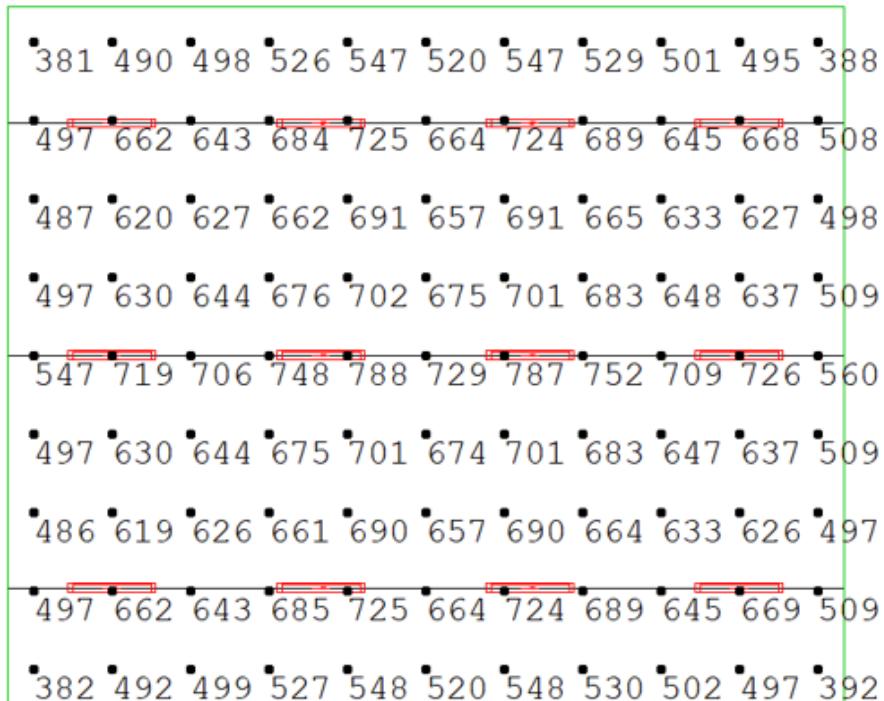


Figura 40 Distribuição de iluminância pelo ambiente – Solução proposta

Fonte: AGI 132

Iluminância	Uniformidade
$E_m=611$ lux	$U_1=0,62$

Tabela 23 Resultados obtidos - Sistema Proposta

Fonte: AGI 132

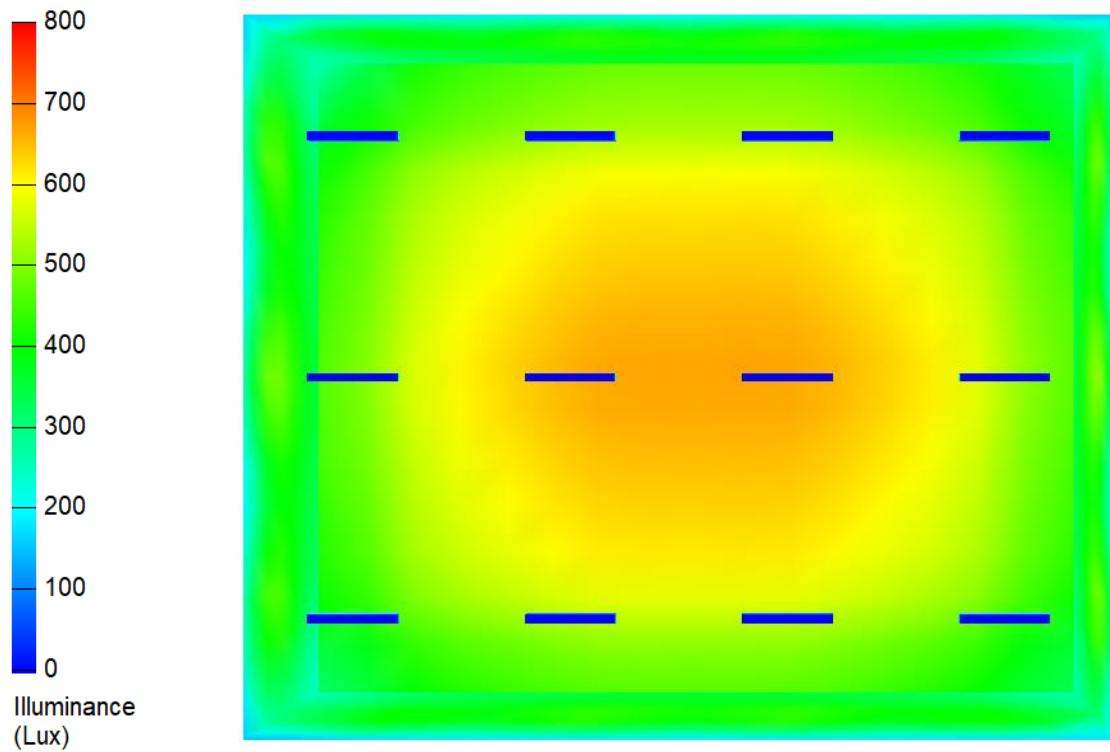


Figura 41 Uniformidade de iluminância - Solução Proposta
Fonte: AGI 132

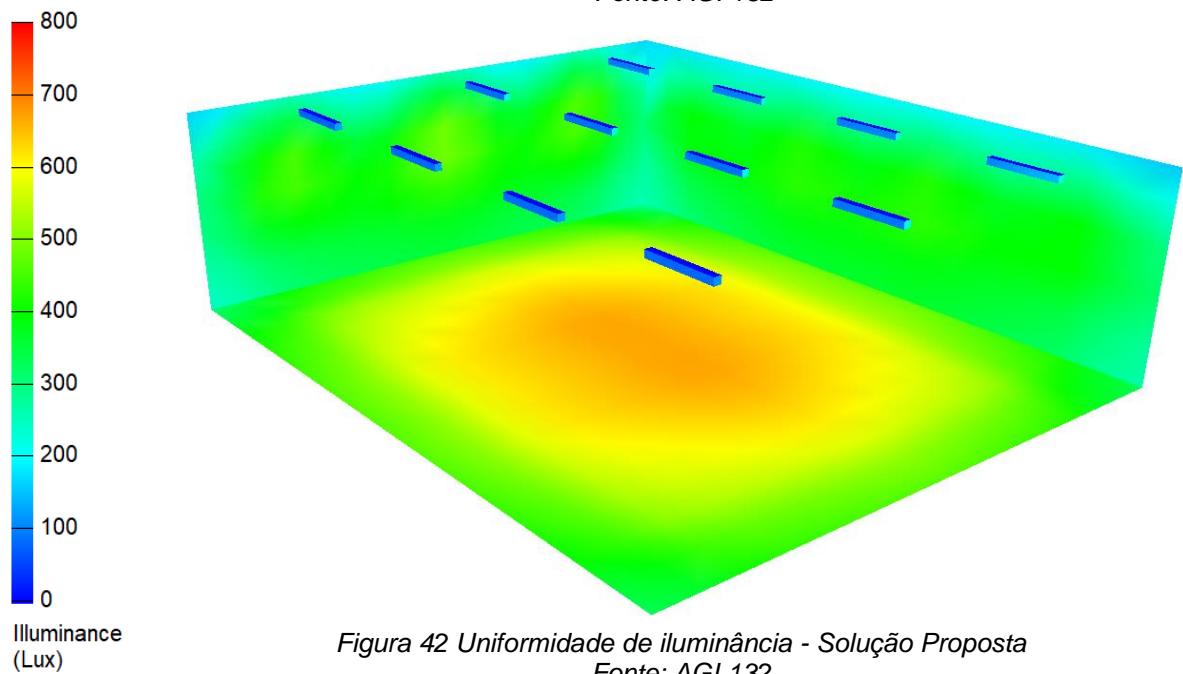


Figura 42 Uniformidade de iluminância - Solução Proposta
Fonte: AGI 132

Nota-se então que mesmo com a melhora da qualidade do sistema de iluminação, com o aumento do número de pontos, existe uma redução da potência instalada.

Para a sala que antes possuía 9 luminárias com 2 lâmpadas de 32W cada, totalizando 576W, sugere-se um arranjo com 12 luminárias LED de 44W, totalizando 528W, reduzindo-se, portanto, o consumo de energia em 9% aproximadamente para a sala de aula. Quando tal taxa de redução é majorada à toda edificação, de forma indicativa, espera-se uma redução de 28.324W de iluminação instalada para 25.775W, chegando a uma economia de potência instalada de 2549 W. Tal redução de potência, considerando o uso anual de 10 horas por dia, 22 dias por mês durante 10 meses, resulta em uma economia de energia de 5607,8 kWh.

Como número indicativo, o valor médio de cada luminária proposta de ser utilizada é R\$200,00, o que faz com o projeto de retrofit do sistema de iluminação conforme solução sugerida tenha custo aproximado de R\$117.160,00.

7.3 Sistema de condicionamento de ar

A proposta mais simples para o sistema de ar condicionado avaliado como de nível C de eficiência seria a troca dos equipamentos individuais por equipamentos novos, mais modernos e com ENCE de nível A cada um. Contudo, o RTQ-C limita o uso de equipamentos individuais para edificações com carga térmica inferior a 350kW (100TR), sendo necessários para situações de maior exigência, equipamentos centrais.

Abaixo a relação das potências dos equipamentos que existem atualmente no edifício:

Modelo	Potência	Quantidade	Total
Split	14,06 kW	48	674,88 kW
Janela	6,15 kW	6	36,90 kW

Tabela 24 Relação de sistema de ar condicionado
Fonte: Levantamento próprio

Com isso, a potência total instalada de condicionamento de ar é de 711,78 kW o que faz com que seja maior que os 350kW de limite recomendados para utilização de equipamentos individuais, mesmo com um fator de simultaneidade baixo, o que não ocorre haja vista a taxa de ocupação do edifício ser de aproximadamente 70%.

Com isso, a proposição de melhoria para o sistema de condicionamento de ar deverá incluir uma solução com tecnologia de sistema de condicionamento central, visando o aumento da classificação no nível de eficiência energética desse

subsistema e, portanto, a redução do consumo de energia atual no edifício. Para dimensionamento da solução proposta, considera-se a potência atualmente instalada no edifício.

As tecnologias para sistemas de condicionamento de ar central atualmente disponíveis no Brasil são diversas nos âmbitos de expansão direta ou indireta. Para o objetivo do presente trabalho é descrito um comparativo entre duas das soluções mais empregadas: sistema de condicionamento de ar tipo água gelada (chiller) e VRF (variable refrigerant flow). Tal comparativo entre características técnicas, vantagens e desvantagens de cada sistema foi obtido por meio de consulta a manuais de fabricantes e a profissionais da área.

O sistema de condicionamento de ar tipo água gelada é um sistema de expansão indireta com condensação a ar ou água. O sistema se baseia nos chillers (Figura 43), os quais são basicamente resfriadores de água utilizados para reduzir temperaturas de produtos, equipamentos ou ambientes. Quando utilizado com o objetivo de climatização de ambientes é a unidade evaporadora de um sistema de ar condicionado com grande capacidade de resfriamento (alguns equipamentos chegando a 300 TR). A água gelada produzida pelo chiller é bombeada através de bombas de recalque até as unidades Fan Coil (Figura 44). Tais unidades são equipamentos que incluem serpentinas e ventiladores. Com isso, o ar que passa pelas serpentinas é resfriado e enviado ao ambiente.

Atualmente existem equipamentos mais sofisticados com capacidade reversa, podendo também aquecer o ambiente. Além disso, é possível também a utilização de tanques termo acumuladores pelos quais é possível gerar água gelada em períodos do dia onde a energia é mais barata e utiliza-la nos quais é mais cara, reduzindo o custo de energia com o sistema (Figura 45). Algumas das vantagens do sistema de água gelada é a facilidade de instalação em edificações maiores já que a ligação entre o chiller e as demais unidades é por meio de tubulação de água que pode ser flexível, o pequeno uso do espaço interno pelos Fain Coil e a grande durabilidade do sistema (Um sistema de água gelada em vida útil aproximada de 20 anos). Como desvantagens pode-se citar o alto custo, necessidade de mão de obra especializada

para manutenção e regulagem de temperatura por ambiente dentro de uma faixa reduzida.



Figura 43 Chiller
Fonte: Manual Chillers York



Figura 44 Fan Coil

Fonte: Manual Chillers York

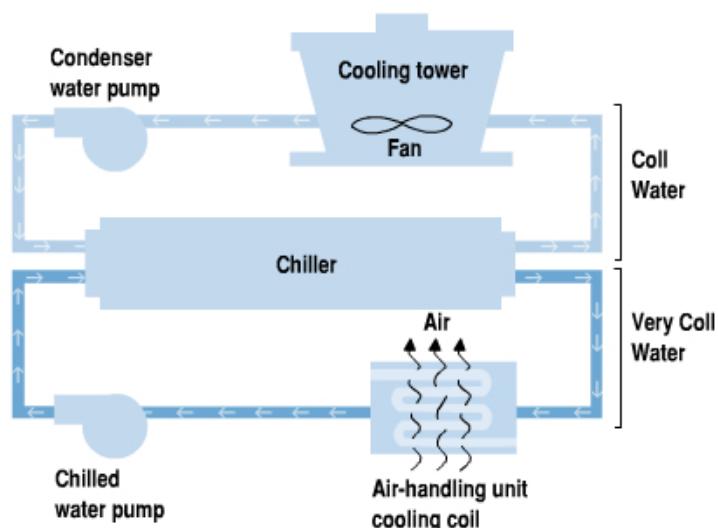


Figura 45 Sistema de ar condicionado com chiller
Fonte: site Thermos Refrigeração

Assim como no tipo água gelada, o sistema VRF- *Variable Refrigerant Flow* (Fluxo de gás refrigerante variável) é um sistema que funciona ligando uma única unidade condensadora a várias evaporadoras (Figura 46). Entretanto nesse caso o sistema é dito como de expansão direta pois o fluido refrigerante é expandido diretamente em contato com o meio que se deseja climatizar. Esse sistema é parecido com o split convencional pois ambos constam com expansão direta em um sistema em que existe uma unidade condensadora externa e uma evaporadora dentro do ambiente, por isso acaba sendo chamado de mult split em alguns casos.

O grande diferencial desse sistema é a combinação de tecnologia eletrônica com sistema de controle por microprocessamento juntamente a um só ciclo de refrigeração e múltiplas unidades internas. As vantagens desse sistema são a facilidade de instalação e manutenção, alta eficiência energética, baixo nível de ruído e regulagem de temperatura individual com uso de diversas unidades internas (cassete, piso-teto e hiwall) (Figura 47). As principais desvantagens são o custo elevado, a perda de eficiência proporcional à distância entre unidade condensadoras e internas e que caso haja problema na unidade condensadora, todas as unidades internas param de funcionar. Um sistema VRF tem vida útil aproximada de 15 anos.



Figura 46 Sistema VRF
Fonte: Manual VRF Toshiba



*Figura 47 Sistema VRF
Fonte: Manual VRF Toshiba*

Com isso, chega-se ao seguinte quadro comparativo entre as características das possíveis soluções em condicionamento de ar tipo água gelada e VRF:

Sistema	Expansão	Vantagens	Desvantagens
Água gelada	Indireta	Facilidade de instalações Reduzido espaço interno usado Durabilidade elevada do sistema	Necessidade de mão de obra bastante especializada para manutenção Difícil regulagem por zonas
VRF	Direta	Alta eficiência Facilidade de regulagem individual por ambiente Baixo Ruído	Custo elevado Vida útil mediana

*Tabela 25 Comparativo entre sistema de água gelada e VRF
Fonte: autoria própria*

Quando se trata de um comparativo para a melhor solução entre VRF e água gelada no que diz respeito a consumo de energia, diversos trabalhos acadêmicos tem se destinado a esse objetivo. Na maioria desses casos, para tal comparação mostra-se necessária uma modelagem apurada com uso de softwares de simulação energética de edificações, como por exemplo o Energy Plus. Com isso, como exemplo, Lucca (2012) faz um comparativo entre o consumo de energia de uma edificação fictícia localizada em Porto Alegre-RS nos casos do uso do sistema de ar condicionado por água gelada e VRF, chegando a um consumo expressivamente menor no caso do VRF, o que também resulta em um custo significativamente menor em energia.

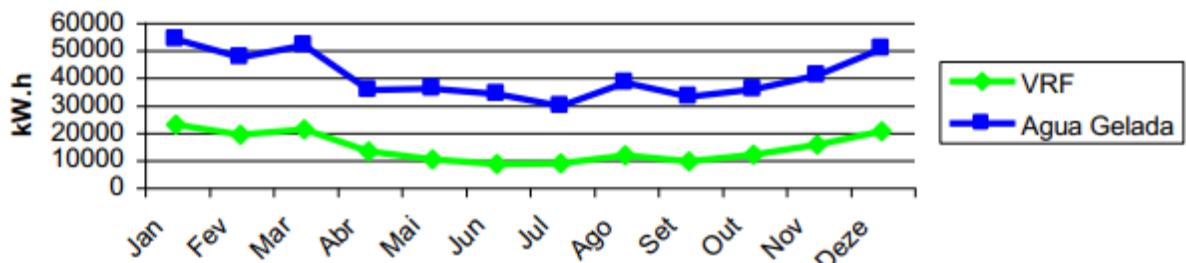


Figura 48 Comparativo de consumo de energia - água gelada e VRF
Fonte: LUCCA 2012

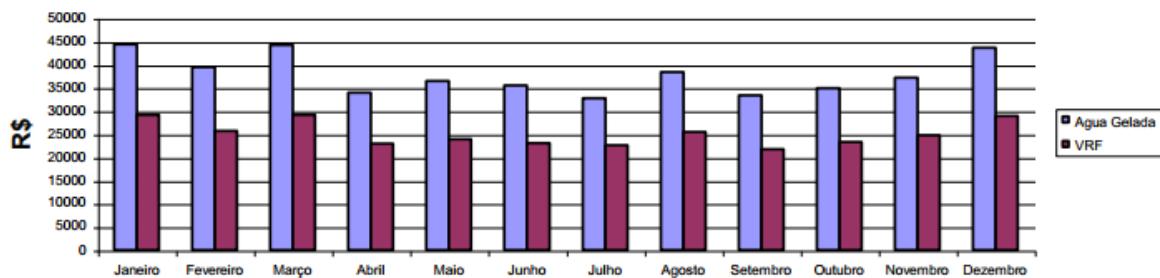


Figura 49 Comparativo de custo de energia - água gelada e VRF

Duarte (2014) chegou a um resultado parecido em seu trabalho de simulação energética de uma edificação comercial em Florianópolis-SC, novamente o VRF mostrou-se uma tecnologia mais eficiente.

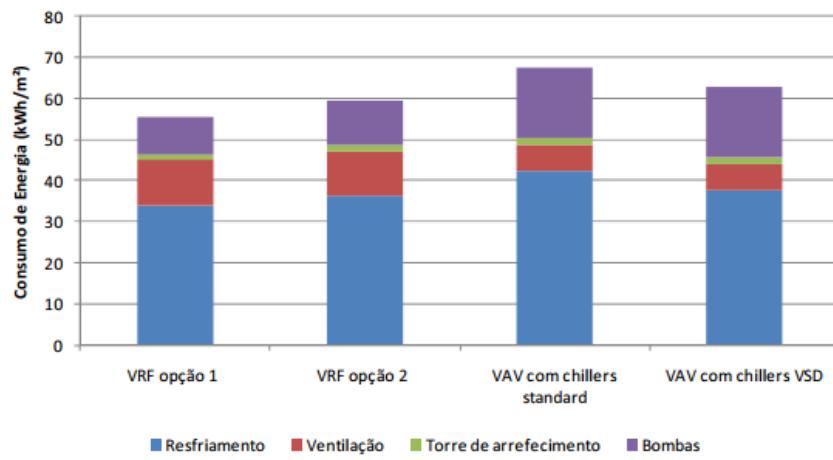


Figura 50 Comparativo de consumo de energia - água gelada e VRF
Fonte: DUARTE 2014

Com isso, haja vista o comparativo das tecnologias de condicionamento de ar por sistema de água gelada e VRF, seja em suas características gerais ou de eficiência energética, optou-se como solução para o presente estudo de caso a tecnologia VRF. Relevante ressaltar que a melhor classificação pelo sistema RTQ-C é possível por ambas tecnologias atualmente.

Para o sistema de condicionamento de ar VRF ser classificado como de nível A, o RTQ-C estabelece alguns critérios específicos a ele baseados principalmente no COP (coefficient of performance) (Tabela 26), definido pela norma ASHRAE 90.1 como razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida para um sistema de refrigeração, tal fator é crucial no momento da escolha pelo equipamento.

Outros critérios são gerais para todos os sistemas centrais como cada zona térmica ser controlada individualmente por termostatos e controles programáveis. Sensores de ocupação, temporizadores ou outro disposto devem evitar o funcionamento do sistema quando o edifício está desocupado. Muitos dos demais critérios dizem respeito a sistemas que também são responsáveis pelo aquecimento, o que não se aplica ao edifício em estudo.

<i>Tipo de equipamento</i>	<i>Capacidade</i>	<i>Tipo de aquecimento</i>	<i>Subcategoria ou condição de classificação</i>	<i>Eficiência mínima</i>	<i>Procedimento de teste</i>
<i>Condicionadores de ar VRF com condensação a ar</i>	< 19 kW	<i>Todos</i>	<i>Multi-split VRF</i>	<i>3,81 SCOP</i>	<i>AHRI 1230</i>
	≥ 19 kW e < 40 kW	<i>Ausente ou Resistência elétrica</i>	<i>Multi-split VRF</i>	<i>3,28 COP 3,84 ICOP</i>	
	≥ 40 kW e < 70 kW	<i>Ausente ou Resistência elétrica</i>	<i>Multi-split VRF</i>	<i>3,22 COP 3,78 ICOP</i>	
	≥ 70 kW	<i>Ausente ou Resistência elétrica</i>	<i>Multi-split VRF</i>	<i>2,93 COP 3,40 ICOP</i>	

Tabela 26 Eficiência mínima de condicionadores de ar tipo VRF que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para classificação no nível A

Fonte: RTQ-C

Por fim, como exemplo, propõe-se uma solução em VRF com equipamentos da marca Trane, modelos da linha TVR LX, por possuir unidades modulares com capacidade maior (até 840MMtu/h), haja vista a demanda de carga da edificação, e compressores com inversor de frequência, o que tende a gerar uma maior eficiência energética.

Consultando o catálogo, optou-se por 10 unidades condensadoras externas de 210.000 Btu/h e 2 unidades de 96.000 Btu/h para atendimento da carga de resfriamento necessária. Nota-se pelas especificações técnicas que o COP de ambos equipamentos permite a classificação de nível A pelo RTQ-C (Tabela 27).



*Figura 51 Exemplo de unidade condensadora Trane
Fonte: Catálogo Trane sistema TVR*

Modelo		<E>	4TVH0086DE0	4TVH0096DE0	4TVH0115DE0	4TVH0140DE0	4TVH0155DE0	4TVH0170DE0	4TVH0192DE0	4TVH0210DE0
		<6>	4TVH0086D60	4TVH0096D60	4TVH0115D60	4TVH0140D60	4TVH0155D60	4TVH0170D60	4TVH0192D60	4TVH0210D60
Resfriamento	Capacidade	kW	25,2	28	33,5	40	45	50	56	61,5
		Btu/h	86.000	95.500	114.300	136.500	153.500	170.500	191.100	210.000
	Consumo elétrico	kW	5,36	6,22	7,79	9,30	10,98	12,87	14,51	16,44
	Intervalo de capacidade (50% – 130%)	MBtu/h	43-112	48-124	58-150	69-177	78-202	85-222	96-248	105-273
Aquecimento	COP	W/W	4,7	4,5	4,3	4,3	4,1	3,9	3,86	3,74
	Capacidade	kW	27	31,5	37,5	45	50	56	63	69
	Consumo elétrico	kW	92,100	107.500	128.000	153.500	170.600	191.100	214.900	235.400
	Intervalo de capacidade (50% – 130%)	MBtu/h	46-120	54-139	64-166	77-200	85-222	96-248	107-279	118-306
COP		W/W	5,6	5,3	4,9	4,8	4,6	4,25	4,12	4,03
Faixa de Operação de Resfriamento		C					-5 °C ~ 48 °C			
Faixa de Operação de Aquecimento		C					+20 °C ~ 24 °C			
Vazão de ar		m³/h		12.000			14.000		16.000	
Nível de Pressão Sonora		dB(A)	57		58		60		61	
Tipo de aleta							Alumínio hidrofílico			
Dimensões (C/A/P)		mm		990x1635x790				1340x1635x790		
Peso líquido		kg	219		237		297	305	340	
Refrigerante							R410A			
Carcaça de refrigerante		kg	9		11		13		16	
Marca do óleo							FVC68D / 500 ml			
Quantidade de óleo		ml	500					500x2		
Tubulação de refrigerante	Diâmetro Tubulação de líquido	mm	Ø9,53		Ø12,7			Ø15,9		
	Diâmetro Tubulação de Gás	mm	Ø22,2		Ø25,4			Ø28,6		
	Tubo de equalização de óleo	mm					Ø6			
	Distância máxima equivalente entre UE e UI	m					200			
	Desnível máximo entre UI	m					30			
	Desnível máximo quando UE acima de UI	m					90			
Desnível máximo quando UE abaixo de UI		m					110			
Quantidade máxima de IU conectadas a EU			13	16	20	23	26	29	33	36

*Tabela 27 Especificações técnicas unidades condensadora Trane
Fonte: Catálogo Trane sistema TVR*

Para as unidades internas, optou-se pela solução com equipamentos Piso - Teto com capacidade de 48.000 Btu/h, substituindo os equipamentos existentes tipo Split e 6 unidades hiwall de 24.000 Btu/h para substituição dos atuais equipamentos tipo janela.



Figura 52 Unidade evaporadora Trane Piso Teto
Fonte: Catálogo Trane sistema TVR



Figura 53 Unidade evaporadora Trane HIWALL
Fonte: Catálogo Trane sistema TVR

Com isso, estabelecendo-se a comparação entre o sistema atual e o sistema proposto para o condicionamento de ar na edificação em estudo, chega-se a redução do consumo médio anual em 230.228 kwh.

Característica	Capacidade de Refrigeração (Btu/h)	Qtde	Consumo horário médio (kw)	hrs/dias	dias/mês	meses	Consumo total (kwh)
Split	48000	48	5,00	10	22	10	527472
Janela	48000	6	2,51	10	22	10	33125
Consumo total (kwh)							560597

Tabela 28 Consumo de energia médio anual do sistema atual de ar condicionado
Fonte: autoria própria

Característica	Capacidade de Refrigeração (Btu/h)	Qtde	Consumo horário médio (kw)	hrs/dias	dias/mês	meses	Consumo total (kwh)
Condensadora VRF	96000	2	5,00	10	22	10	22000
Condensadora VRF	210000	10	12,83	10	22	10	282260
Evaporadora VRF Piso Teto	48000	48	0,24	10	22	10	25450
Evaporadora VRF HIWALL	24000	6	0,05	10	22	10	660
Consumo total (kwh)							330370

*Tabela 29 Consumo de energia médio anual do sistema proposto de ar condicionado
Fonte: autoria própria*

Por fim, consultando alguns fornecedores, a estimativa para o valor de um projeto desse porte para retrofit do sistema de condicionamento de ar fica em torno de R\$1.380.000,00, incluindo instalação e equipamentos.

8 RECLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA

Uma vez que não existe limitação técnica para implantação das melhorias propostas, existindo apenas a possível limitação financeira para os projetos, realiza-se novamente a avaliação da eficiência energética de acordo com as diretrizes do RTQ-C com o objetivo de obter a nova classificação pela ENCE caso as medidas de *retrofit* fossem realizadas. Do mesmo modo que na classificação das condições atuais dos edifícios, a nova avaliação será segmentada em envoltória, sistema de iluminação, sistema de ar condicionado e classificação geral.

8.1 Envoltória

Na avaliação desse item, o ponto crítico que não permitiu uma melhor classificação da eficiência da envoltória do edifício foi sua cobertura com telhas de fibrocimento. Focada nesse aspecto, a solução principal proposta foi uma nova cobertura utilizando-se de teto verde.

Tal solução automaticamente cumpriria os pré-requisitos não atendidos anteriormente de transmitância térmica de cobertura e cores/absortância de superfície na cobertura de acordo com o RTQ-C, fato também ressaltado em algumas das referências citadas que apontam o teto verde como uma solução já consolidada na área de eficiência energética em edificações.

A consolidação da tecnologia já se apresenta na forma de um mercado existente hoje no Brasil. Fornecedores como a Ecotelhado, por exemplo, já apresentam estudos que demonstram a transmitância térmica de 0,76 W/(m².k) para suas soluções quando combinadas com lajes inclusive de espessura menor do que a do edifício em estudo de caso, o que também garantiriam o cumprimento do pré-requisito do RTQ-C de 1,0 W/(m².k) para classificação de nível A, mesmo que esse não aprovasse automaticamente o telhado verde como pré-requisito.

Os itens correspondentes a determinação do nível de eficiência que chegam ao indicador de consumo de envoltória (Icenv) não sofreram alterações com as soluções propostas, permanecendo, portanto, como nível A.

Com isso, com tal cumprimento dos pré-requisitos não atendidos anteriormente, a envoltória do edifício passa a ser classificada como de nível A.

ENVOLTÓRIA: NÍVEL A

8.2 Sistema de iluminação

A primeira avaliação do sistema de iluminação apenas não permitiu uma boa classificação devido ao não cumprimento de um pré-requisito de aproveitamento de iluminação natural, sendo avaliado como de nível C.

Como proposta de melhoria ao sistema, portanto, sugeriu-se a implantação de um sistema de acionamento da fileira de luminárias próxima a abertura que cumpriria tal pré-requisito.

Sem a restrição pelo pré-requisito, a avaliação de eficiência energética é realizada pela potência do sistema de iluminação. Contudo, tal sistema já permitiria classificação como de nível A. Com isso, as propostas se destinaram principalmente ao cumprimento do desempenho de iluminação, sendo que a solução ainda permitiu uma redução da potência instalada. Portanto a nova potência do sistema de iluminação de 25.775W ainda está abaixo da escala crescente entre os níveis A e B (52950W), continuando sendo avaliada como de nível A.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO: NÍVEL A

8.3 Sistema de condicionamento de ar

Como especificado no item de proposição de melhorias ao sistema de condicionamento de ar, o sistema central colocado como solução utiliza-se de equipamentos que atendem os requisitos do RTQ-C para nível A de eficiência.

SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR: NÍVEL A

8.4 Eficiência geral

A partir das propostas de melhoria para a eficiência energética de cada sistema, baseando na Tabela 18 e na metodologia já apresentada, obtém-se os seguintes equivalentes numéricos para o caso em estudo.

- Envoltória (nível C): EqNumEnv = 5
- Sistema de iluminação (nível C): EqNumDPI = 5
- Sistema de condicionamento de ar (nível C): EqNumCA = 5
- Ventilação Natural: EqNumV não se aplica uma vez que não existem áreas com ambientes não condicionados e de permanência prolongada.

Por fim, considerando os demais parâmetros não alterados em relação a avaliação das condições existentes realizadas anteriormente, chega-se a pontuação total proposta para o edifício que permite a avaliação final de eficiência energética como de nível A de acordo com a ENCE.

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

$$PT = 0,30 \left\{ \left(5 \times \frac{2,269}{4.393,25} \right) + \left(\frac{2.124,25}{4.393,25} 5 + \frac{0}{4.393,25} \times EqNumV \right) \right\} + 0,30(5) + 0,40 \left\{ \left(5 \times \frac{2,269}{4.393,25} \right) + \left(\frac{2.124,25}{4.393,25} 5 + \frac{0}{4.393,25} \times EqNumV \right) \right\} + 0$$

$$PT = 5$$

CLASSIFICAÇÃO GERAL: NÍVEL A

Importante ressaltar que além da classificação geral na ENCE como nível A, a classificação de nível A em cada sistema avaliado permite que o edifício também seja contemplado com o selo PROCEL de economia de energia.

9 ANALISE DE MELHORIAS

Além da melhora do nível de classificação perante a ENCE da eficiência energética do edifício em estudo pela implantação das melhorias propostas, tal ganho de eficiência também permite um ganho financeiro pela redução dos custos em energia e ambiental devido à redução do consumo de energia elétrica e aos impactos ambientais a ele associados.

9.1 Análise financeira

O edifício tem sua mediação de consumo de energia conjunta com todo o complexo do Biênio da Escola Politécnica, com isso o levantamento de consumo específico dessa edificação não foi possível. Entretanto toda cidade universitária é atendida por uma única subestação e apenas uma conexão à rede de distribuição. Contudo, em contato com a Superintendência do Espaço Físico da USP (SEF) foi possível identificar a modalidade de tarifação de energia em que hoje a Universidade e, portanto, o edifício em estudo estão.

Antes da descrição da tarifação de energia do edifício, entretanto, convém o aprofundamento sobre alguns conceitos desse ambiente, todos disponíveis na Resolução Normativa Aneel nº414/2010:

- Características dos sistemas tarifários: O faturamento é baseado na aplicação de uma tarifa binômia, composta de duas grandezas: consumo (kWh) e demanda (kW). Existem dois modelos de tarifação chamados Azul e Verde.
- Consumo: Consumo é a energia consumida num intervalo de tempo, ou seja, o produto da potência (kW) da carga pelo número de horas (h) em que a mesma esteve ligada.
- Demanda: Média integralizada das potências solicitadas a cada intervalo de 15 min.
- Tarifa de Energia (TE): Tarifa que incide sobre o valor de consumo (R\$/KWh), repassando ao consumidor o custo da energia elétrica gerada.
- Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição: Tarifa que incide sobre o consumo (R\$/kWh) e sobre a demanda (R\$/kW), repassando ao consumidor os custos e

remuneração da distribuidora local em relação à infraestrutura física necessária para ao transporte de energia elétrica até o ponto de consumo.

- Modalidades tarifárias (verde e azul): Na modalidade tarifária horária Verde, opcional para unidades alimentadas com tensão inferior a 69 kV, o consumidor é tarifado por dois segmentos de consumo (kWh) consumo no horário de ponta e fora ponta sendo que, no horário de ponta, os valores de TUSD e TE que incidem sobre o consumo mensal são relativamente altos e, o consumo neste período deve ser restrito sempre que possível. O faturamento também inclui uma parcela referente à demanda contratada, com valor único para todos os horários (TUSD do horário fora ponta). Na modalidade Azul tanto a TUSD quanto a TE possuem divisão entre os horários de ponta e fora ponta.

Com isso, a Cidade Universitária fica na cidade de São Paulo, sob concessão da AES Eletropaulo como distribuidora de energia. A conexão é realizada em alta tensão com classificação no subgrupo A4 (2,3kV a 25kV), sendo na modalidade Verde. As tarifas vigentes para a AES no momento de elaboração desse trabalho são as seguintes:

Tarifas	Horário	
	Ponta	Fora Ponta
TUSD DEMANDA	R\$ 9,96/KW	
TUSD CONSUMO	R\$0,67196/kWh	R\$0,06733/kWh
TE	R\$0,48643/kWh	R\$0,30465/kWh

*Tabela 30 Tarifas AES Eletropaulo consumidor A4 verde
Fonte: ANEEL, 2018*

Ressalta-se que pelo caráter de estimativa do presente capítulo e pela dificuldade em estimar o consumo por posto horário tarifário na edificação, considera-se todo o consumo no horário fora ponta, tornando, portanto, os valores mais conservadores do que os que realmente seriam obtidos pela implantação das propostas de melhoria em eficiência energética. O mesmo pode ser adotado para as bandeiras tarifárias, as quais não foram consideradas no presente estudo e elevam as tarifas aplicas com frequência no Brasil, utilizando-se para estudo a bandeira verde.

Outro ponto que não será considerado serão os ganhos em redução de consumo pela adoção das medidas propostas para a envoltória. Existem estudos que

descrevem a possível redução de consumo de energia por medidas como o teto verde, por exemplo, entretanto são de difícil apuração e bastante variáveis para cada modelo aplicado.

Com isso, aplicando-se as tarifas descritas para os valores de redução de consumo de energia e potência encontrados para os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, é possível obter uma estimativa da redução mensal de custo de energia para a edificação.

Sistema	Redução de Potência (kW)	Tarifa demanda (R\$/kW)	Redução de Energia (kWh)	Tarifa de energia (R\$/kWh)	Economia anual (R\$)
Ar condicionado	1046,5	9,96	230228	0,37198	R\$96.063,35
Iluminação	25,49	9,96	5607,8	0,37198	R\$2.339,87
Economia total (R\$)					R\$98.403,22

*Tabela 31 Redução financeira com as melhorias propostas
Fonte: autoria própria*

9.2 Análise ambiental

Como apontado no início do presente trabalho, a geração e o consumo de energia estão atrelados à diversos impactos ambientais como alagamento, desflorestamento e emissões de gases do efeito estufa, principalmente CO₂.

Pela dificuldade de mensuração de todos os impactos, o presente item buscará apresentar o ganho em aspectos sustentáveis da redução do consumo de energia pela redução direta da emissão de CO₂ na matriz energética brasileira.

O problema de quantificar emissões de gases de efeito estufa de sistemas elétricos interligados é recorrente, pois estes sistemas de rede normalmente agregam energias provenientes de diversas fontes geradoras, algumas com alta intensidade de carbono associada e outras que podem ter suas emissões consideradas nulas. Por exemplo, alta emissão pode ser considerada uma usina termoelétrica que utilize carvão como combustível ou nula, como uma usina eólica de pequeno porte.

No entanto, como a operação dos sistemas normalmente é feita por uma entidade independente, de propriedade das usinas geradoras, a decisão do despacho é feita com base em critérios de eficiência do sistema e de segurança do abastecimento, não se pode associar de forma inequívoca o despacho de uma determinada usina a um determinado consumidor. A Convenção Quadro da ONU para Mudanças Climáticas – UNFCCC, definiu como metodologia de apuração da intensidade de carbono um conjunto de regras estabelecidas na metodologia ACM-002, para o cálculo do fator de emissão médio do grid que venha a ser considerado em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

No Brasil, a Autoridade Nacional Designada, entidade designada pela lei brasileira para se responsabilizar pelas ações correlatas do País em relação às mudanças climáticas, publica de forma oficial as emissões médias do grid elétrico brasileiro. Este cálculo é atualizado periodicamente em bases mensais para fins de utilização oficial em projetos de MDL (créditos de carbono) e para fins de inventário. Embora a metodologia de apuração seja a mesma para as duas situações, os valores utilizados para projetos de créditos de carbono são substancialmente mais elevados do que aqueles publicados para fins de inventários. A diferença ocorre, pois, o cálculo feito para fins de projetos de crédito de carbono considera emissões futuras a partir da expectativa de novos empreendimentos geradores no período considerado como de vida útil dos projetos. No Brasil, particularmente, existe a clara tendência de aumento de usinas termoelétricas e a previsão de um maior fator de emissões futuro. De outra parte, as emissões publicadas para fins de inventário refletem a realidade do despacho elétrico que efetivamente ocorreu. Em anos com menor incidência de chuvas, como observado em 2013 e 2014, dada a representatividade das usinas hidroelétricas no Brasil, o índice é mais elevado do que em anos com elevada pluviosidade. Os fatores de emissão do grid brasileiro estão disponíveis no endereço eletrônico do Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação.

Na metodologia indicada pela ONU e utilizada pelo governo brasileiro, as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de usinas hidroelétricas de qualquer porte, térmicas de biomassa e usinas eólicas são contabilizadas como emissão de GEE nulas. Portanto, se fosse possível rastrear a fonte de geração que produziu a energia elétrica consumida seria possível utilizar um fator de emissões diferente do publicado

pelo governo brasileiro, sendo que em alguns casos a emissão poderia ser superior ao valor médio do Sistema Interligado Nacional (SIN). Mas isto é inviável por razões de estratégia de operação, as usinas hidráulicas podem inclusive ser desligadas para promover uma preservação da água para os meses mais secos, e nessa situação sua produção é substituída por térmicas dos mais diferentes combustíveis fósseis.

Com isso, utiliza-se como metodologia para o presente item a consideração indicativa de que toda energia que é deixada de ser consumida sairia da matriz de produção brasileira e poderia, portanto, ser apontada como uma redução da emissão de gases do efeito estufa pelo indicador médio de emissão disponibilizado pelo Ministério de Ciência e tecnologia. Utiliza-se como premissa os fatores identificados para o ano de 2017, último ano completo do qual é possível se obter um valor médio do fator de emissão.

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual
MÊS												ANO - 2017
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
0,057	0,054	0,070	0,082	0,085	0,068	0,097	0,131	0,126	0,137	0,119	0,089	0,0927 (tCO ₂ /MWh)

Tabela 32 Fatores médios de emissão de CO₂
Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Sistema	Redução de Energia (kWh)	Fator média anual (tCO ₂ /MWh)	Redução (tCO ₂)
Ar condicionado	230,228	0,0927	21,34
Iluminação	5,6078	0,0927	0,52
Redução total (tCO ₂)			21,86

Tabela 33 Redução total de emissão de CO₂ devido as melhorias propostas
Fonte: autoria própria

10 CONCLUSÃO

A utilização do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) para avaliação do nível de eficiência energética da edificação estudo de caso não permitiu a avaliação crítica apenas sobre o consumo de energia do edifício, mas também sobre a própria metodologia.

Atualmente são publicados manuais e documentos com o objetivo de tornar o RTQ-C mais acessível aos profissionais que não estão totalmente familiarizados com tecnologias e projetos de eficiência energética. Com isso, o RTQ-C pode servir de referência para medidas de eficiência mesmo para projetos em que não se busque a classificação pela Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sejam eles de novas edificações ou de *retrofit*. Com isso, sobre a metodologia, é evidente a necessidade de se incluir em sua estrutura ressalvas e talvez até diretrizes para os cumprimentos das normas de desempenho dos sistemas por ela avaliados. Um exemplo dessa situação observado no presente estudo de caso ocorre na avaliação do sistema atual de iluminação: caso fossem cumpridos os pré-requisitos, a edificação estaria apta a receber classificação de nível A, pois a mensuração da eficiência é realizada unicamente pela potência do sistema instalado e tal sistema está subdimensionado.

Assumindo o edifício estudado como representativo de parte dos edifícios públicos do Brasil, pode-se identificar alguns aspectos positivos e outros negativos no âmbito da eficiência energética. Por exemplo, o fato do edifício possuir algumas décadas de sua construção permite que tecnologias obsoletas como paredes espessas de alvenaria cerâmica contribuam para uma melhor eficiência energética. Por outro lado, equipamentos como lâmpadas, luminárias e ar condicionado, quando mais antigos tendem a ter um consumo menos eficiente de energia e quando mais novos, equipamentos mais eficientes costumam ter um custo maior, o que dificilmente é considerado nas licitações.

Com isso, para que edifícios como o estudado melhorem seus números de eficiência, haja vista a improbabilidade de um grande projeto de *retrofit*, medidas

podem ser tomadas como a substituição parcial dos equipamentos por mais eficientes quando necessária a reposição de equipamentos que deixem de funcionar, como no caso das lâmpadas fluorescentes por LED. Por outro lado, para que a perda de eficiência energética não ocorra, a manutenção dos sistemas do edifício é essencial como a limpeza do vidro de janelas, limpeza de filtros de ar condicionado e repintura de fachadas quando tornam-se escurecidas, por exemplo.

Por fim, espera-se que o presente trabalho tenha contribuído para apontar os possíveis ganhos com medidas de eficiência energética em edificações públicas não apenas na classificação pela ENCE, mas em aspectos práticos como a redução da emissão de CO₂ e a dos custos em energia.

11 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABESCO. Associação brasileira das empresas de serviços de conservação de energia. Brasil Desperdiça meia Itaipu por ano. 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/brasil-desperdica-meia-itaipu-por-ano/>>. Acessado em: 18/05/2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 2005

ANDRADE, P. B. Eficiência energética em edifícios: Oportunidades e desafios. 158 f. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2012

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3^a Edição; Brasília, 2008.

BRASIL MINISTÉRIOS DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e diretrizes básicas. Secretaria de planejamento e desenvolvimento energético

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Acordo de Paris. Portal MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acessado em: 15/12/2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Eficiência energética: guia para etiquetagem de edifícios. Brasília, MMA, 2015.

CAMPOS, A. Brasil fica em 15º em ranking de eficiência energética. Revista Exame. 2014. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/brasil-fica-em-15o-em-ranking-de-eficiencia-energetica/>> Acessado em: 15/12/2017

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

CEPEL – Centro de pesquisas de energia elétrica. Guia para eficiência energética nas edificações públicas. Ministério de Minas e Energia-Brasil, Rio de Janeiro, 2015.

COMERC. Eficiência energética: saiba o custo de não fazer. 2016. Disponível em: <<http://panorama.comerc.com.br/2016/09/eficiencia-energetica-saiba-o-custo-de-nao-fazer/>>. Acessado em: 10/12/2017

DE SOUZA. H. M *et al.* Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. Revista Brasileira de Energia, Vol. 15, No. 1, 1º Sem. 2009, pp. 7-26

DORNELLES, K. A.; Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex, acrílica e PVA. (tese de doutorado em engenharia civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

DUARTE, V.C.P. Comparação do desempenho energético de sistema de climatização para uma edificação comercial em Florianópolis/SC. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional, Relatório Síntese. Ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência Energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: Discussões sobre o método prescritivo do RTQ-C. v. 10, n. 2, p. 59-69. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010

FREITAS, M. C. D., SANTOS, A., STRAPASSON, D. C. Estudo Comparativo do Consumo Energético do Telhado Convencional e Verde Leve em uma edificação. Universidade Federal do Paraná, 2010.

GBC BRASIL. Certificação LEED. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acessado em: 15/12/2017

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos avançados 21 (p 59), 2007.

GOLDEMBERG, José. Energia, meio ambiente & desenvolvimento. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

HAYDT, G. Eficiência energética em edificações dá samba no Brasil? Blog Infopetro. 2012. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2012/11/26/eficiencia-energetica-em-edificacoes-da-samba-no-brasil/>>. Acessado em: 15/12/2017.

HENEINE, M. C. A. de S. Cobertura Verde. Monografia (Especialização em Tecnologia e produtividade das construções). Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

INMETRO. Regulamento técnico de qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C). Anexo Portaria 372, de 17 de setembro de 2010.

KALLAKURI, C. et al. The 2016 International energy efficiency scorecard, ACEEE-American Council for na Energy-Efficiente Economy, 2016.

LAMBERTS, R. et al. Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos. In: ENCONTRO NACIONAL, 9., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007,

LEOPOLDO, R.; Compromisso com o desenvolvimento sustentável é de primeira hora; diz Temer. 2017. Portal Estadão. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,compromisso-com-o-desenvolvimento-sustentavel-e-de-primeira-hora-diz-temer,70002007221>> Acessado em: 15/12/2017.

LUCCA,T.M. Comparação entre sistemas de ar condicionado com fluxo de refrigerante variável e água gelada. Monografia (graduação). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. Revista Economia e Desenvolvimento, nº16, 2004.

MOISES, I. C., PENDIUK, F., PEREIRA, M. P. Telhado Verde: A Evolução da Tecnologia e suas Funcionalidades. Centro Universitário Opet, 2017.

MORETTINI, R. Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para uma reabilitação sustentável. Dissertação (Mestrado). 144 f. Departamento de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2012

OBERNDORFER, E. et al. Green Roof as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions and Services. BioScience, 2007

OLMI, D. Avaliação do Potencial de Redução do Consumo de Energia para Climatização do MASP utilizando Cobertura Verde. Universidade de São Paulo, 2015.

ONU BR; A ONU e o meio ambiente. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acessado em: 15/12/2017.

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>>. Acessado em: 15/12/2017

PEREIRA, A. P. A. Consumo Residencial de Energia e desenvolvimento humano: um estudo da realidade brasileira de 1970 a 2005. Dissertação (Mestrado). 121 f. Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Energia. Universidade Federal de Itajubá, 2007.

Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.12 volumes. (Volume. 11. Eficiência energética)

PROCEL INFO – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp>> e
<<https://www.procelinfo.com.br>>. Acessado em 30/04/2018

ROMÉRO, M. A.; DOS REIS, L. B. Eficiência energética em edifícios. Editora Manole, 2014

SANTANA, M. V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritórios localizados em Florianópolis, Dissertação (Mestrado). 196 f. Departamento de Engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SANTOS, J.P. dos; RORIZ, M. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 149-161. 2012.

VIANA, A. N. C. et al. Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações. 1.Edição. Campinas, 2012.