

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO  
GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

**AMANDA CLEOMACLES DE MESQUITA VIEIRA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS - ESTUDO DE CASO  
ESCOLA ESTADUAL PADRE ANTÃO DE SÃO PAULO**

**São Paulo**

**2019**

**Amanda Cleomacles de Mesquita Vieira**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS - ESTUDO DE CASO  
ESCOLA ESTADUAL PADRE ANTÃO DE SÃO PAULO**

**SCHOOLS ENERGY EFFICIENCY – CASE STUDY ESCOLA ESTADUAL  
PADRE ANTÃO DE SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Administração - Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Oliveira e Aguiar

**São Paulo**

**2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Vieira, Amanda Cleomacles de Mesquita.

Eficiência energética em escolas – estudo de caso escola estadual Padre Antão de São Paulo. / Amanda Cleomacles de Mesquita Vieira. 2019.

109 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Prof. Dr. Alexandre de Oliveira e Aguiar.

1. Eficiência energética. 2. Construções sustentáveis. 3. Rotulagem. 4. PROCEL. 5. Simulação.

I. Aguiar, Alexandre de Oliveira e. II. Título.

CDU 658:504.06

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS - ESTUDO DE CASO**  
**ESCOLA ESTADUAL PADRE ANTÃO**

**Por**

**Amanda Cleomacles de Mesquita Vieira**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Administração - Gestão Ambiental e Sustentabilidade, apresentada à Banca Examinadora formada por:

---

Prof. Dr. Alexandre de Oliveira e Aguiar – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

---

Prof. Dra. Cláudia Echevengá Teixeira – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT

---

Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

São Paulo, dia 13 de fevereiro de 2019.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria  
de Fátima Mesquita, com todo o meu  
amor e gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre de Oliveira e Aguiar, por todas as correções, orientações e apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Alberto Hernandez Neto por toda a ajuda, compreensão e conhecimento repassado.

Ao Prof. Dr Levy e ao Diretor Anderson pela ajuda na viabilização desse estudo.

Aos meus irmãos, Geruza e André, pelo apoio e incentivo.

A Lucas, Sizina e Laécio pelo carinho e incentivo durante todos os momentos.

Ao meu pai, João Cleomacles, pela ajuda.

À Jerusa de Albuquerque Machado pela colaboração para eu fazer o mestrado.

A Antônio Ferrador e Alexandra Frasson pelas contribuições técnicas.

Aos professores do GEAS da Uninove, em especial à Profa. Dra. Cláudia Kniess e ao Prof. Dr. João Alexandre pelas sugestões dadas na qualificação.

Aos meus colegas do GEAS, que tornaram as horas de estudo mais agradáveis.

## RESUMO

As edificações são uma das principais fontes de consumo de energia em cidades, e também da emissão de gases de efeito estufa devido a sua geração. A fase de uso dos edifícios é a que envolve o maior consumo de energia ao longo do seu ciclo de vida. No caso em edifícios antigos, vários autores indicam que existe um enorme potencial de economia de energia a ser estudado. O objetivo geral do trabalho foi propor ações para a melhoria da eficiência energética na Escola Estadual Padre Antão/SP, tendo como base os critérios do PROCEL-Edifica. O trabalho foi desenvolvido por meio de estudo de caso. A coleta de dados envolveu visitas técnicas ao local e entrevistas não estruturadas, bem como a obtenção de documentos, registros e dados de engenharia do edifício. A análise de dados foi feita pelo método da simulação do PROCEL-Edifica por meio do uso do *software EnergyPlus*, em que se obteve a classificação quanto à demanda de energia como etiqueta A e, em relação ao percentual de horas ocupada em conforto etiqueta C, portanto, a classificação geral do prédio obtida foi etiqueta C. Para a prática, as implicações desse trabalho estão nas indicações das melhorias propostas para aumento da eficiência energética nas instações da edificação. Algumas das potenciais melhorias identificadas foram: mudança de lâmpadas fluorescentes para LED, alteração nos circuitos de iluminação e melhoria no sombreamento vertical das fachadas por meio de brises. Uma análise básica de tempo de retorno de investimento para algumas melhorias foi feita, demonstrando possível priorização de ações. No geral, o modelo real simulado está calibrado, no entanto, a classificação da edificação é questionável devido alguns critérios de avaliação do PROCEL-Edifica para os modelos de referências simulados como, a densidade de potência de iluminação no item de sistemas de iluminação. Bem como os critérios da envoltória, que interferem muito pouco para modelos com ventilação natural, essas determinações são mais bem avaliadas por modelos com condicionamento de ar.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, construções sustentáveis, rotulagem, PROCEL, simulação.

## ABSTRACT

Buildings are one of the main sources of energy consumption in cities, as well as the emission of greenhouse gases due to their generation. The phase of operation of buildings is the one involving the highest energy consumption throughout its life cycle. For old buildings, several authors indicate that there is a huge energy saving potential to be studied. The general objective of the work is to propose actions for the improvement of energy efficiency at the State School Padre Antônio / SP, based on PROCEL-Edifica criteria. The work was developed through a case study. Data collection involved site visits and unstructured interviews, as well as obtaining documents, records, and building engineering data. The data analysis was done using the PROCEL-Edifica simulation method through the use of the *EnergyPlus* software, which obtained the classification of the energy demand as label A, and in relation to the percentage of hours occupied in label comfort C; therefore, the general classification of the building obtained was labeled C. For practical purposes, the implications of this work are in the indications of the improvements proposed to increase the energy efficiency in the buildings. Some of the potential improvements identified were: changing from fluorescent lamps to LEDs, altering lighting circuits and improving vertical shading of facades by means of brises. A basic analysis of the time of return of investment for some improvements was made, demonstrating possible prioritization of actions. In general, the simulated real model is calibrated. However, the classification of the building is questionable due to some evaluation criteria of PROCEL-Builds for simulated reference models such as the power density of illumination in the lighting systems item. As well as the envelope criteria, which interfere very little with models with natural ventilation, these determinations are better evaluated by models with air conditioning

**Keywords:** Energy efficiency, sustainable constructions, labeling, PROCEL, simulation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.1.1	Questão de Pesquisa .....	16
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	Geral .....	16
1.2.2	Específicos.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA PARA ESTUDO DO TEMA.....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1	CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES E ECONOMIA ENERGÉTICA.....	19
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....	21
2.2.1	Aspectos econômicos da eficiência energética em edifícios.....	25
2.3	SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR PÚBLICO.....	27
2.3.1	CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAGEM .....	29
2.3.2	ETIQUETA PBE EDIFICA / PROCEL-EDIFICA.....	30
2.4	SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS .....	37
2.4.1	Aspectos técnicos da arquitetura escolar que influenciam no conforto ambiental incorporados pelo FDE.....	40
2.5	ENERGYPLUS .....	43
2.5.1	Calibração de modelos gerados pelo <i>EnergyPlus</i> .....	46
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>49</b>
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	49
3.2	PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS.....	51
3.2.1	HISTÓRICO DAS VISITAS PARA COLETA DE DADOS.....	51

3.3	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS .....	53
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>58</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO .....	58
4.1.1	Localização e posicionamento geográfico do edifício .....	60
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
5.1	LEVANTAMENTO DE DOCUMENTOS PRIMÁRIOS .....	62
5.2	SIMULAÇÃO DO PROCEL-EDIFICA APLICADO AO EDIFÍCIO DO ESTUDO DE CASO .....	63
5.2.1	SIMULAÇÃO DO MODELO REAL .....	63
5.2.2	SIMULAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA .....	67
5.3	CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO: INTERPOLAÇÃO DOS CONSUMOS ...	72
5.4	PERCENTUAL DE HORAS OCUPADAS EM CONFORTO – EQUIVALENTE NUMÉRICO DA VENTILAÇÃO .....	73
5.5	CLASSIFICAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO .....	75
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>76</b>
6.1	OPORTUNIDADES DE MELHORIAS .....	76
6.1.1	Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpada LED .....	76
6.1.2	Modificação dos circuitos de iluminação - Divisão de circuitos.....	78
6.1.3	Sensores de Presença.....	82
6.1.4	Proteção Solar: Brise .....	82
6.1.5	Telha de fibrocimento pintada de branco .....	83
6.1.6	Sugestão de prioridade de ação .....	83
6.2	ANÁLISE DE USO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO PROCEL-EDIFICA...	84
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>87</b>
7.1	LIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	87

7.2	CONTRIBUIÇÃO PARA A TEORIA.....	88
7.3	CONTRIBUIÇÃO PARA A PRÁTICA .....	88
7.4	SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS .....	88
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O progressivo aumento da utilização de recursos naturais nas últimas décadas está acarretando o esgotamento dos recursos fósseis no mundo (Shaikh, Nor, Nallagownden, Elamvazuthi, & Ibrahim, 2014), além de provocar o aumento na emissão de gases de efeito estufa e mudanças significativas nas condições climáticas (Baños et al., 2011). Reconhece-se, portanto, cada vez mais os desafios globais e locais relativos à conservação do meio ambiente.

Um marco importante ocorreu em meados de 1970, com a chegada da crise do petróleo, que teve seu preço quadruplicado. Isso alertou os fornecedores e operadores de construção para a necessidade de economia de energia já que altos níveis de consumo eram insustentáveis para o desenvolvimento em geral (Yudelso, 2010). Em 1972 a ONU promoveu em Estocolmo a Conferência sobre o Meio Ambiente Humano (Conference on the Human Environment), que tratou do direito de usufruir dos recursos naturais para evitar seu esgotamento (Motta & Aguilar, 2009).

Outro acontecimento importante a ser citado é a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas que, em 1987, definiu pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável como a capacidade da atual geração de pessoas em atender às suas necessidades, sem comprometer a capacidade das gerações futuras. Seguindo esse princípio, surgiu na arquitetura o conceito “construções sustentáveis” (Yudelso, 2010). O setor das edificações, incluindo o ambiente construído, é o maior consumidor final de energia, representam 40% da energia total utilizada a nível global (Dixit, Culp, & Fernández-Solís, 2013) e ainda, com estimativa de um terço de emissões de gases de efeito estufa (Ahmad, Mourshed, Mundow, Sisinni, & Rezgui, 2016).

Atualmente, os países desenvolvidos e em desenvolvimento enfrentam os desafios de reduzir as emissões de carbono durante o ciclo de vida de suas edificações nos próximos 30-40 anos (Oreszczyn & Lowe, 2010).

A análise do ciclo de vida em edificações é empregada com o objetivo de definir alternativas menos impactante negativamente ao meio ambiente. O seu princípio constitui-se na elaboração da análise das consequências ambientais de um produto ou atividade com base em um

inventário o qual considera as entradas e saídas de um determinado sistema de produção, como, matérias-primas, energia, produto e resíduos (Soares & Pereira, 2004).

Nesse estudo, o item de maior importância ambiental é o consumo de energia, que segundo Fay (1999), pode ser o principal fator de impacto em um estudo de ciclo de vida. Além disso, na escolha de decisões mais sustentáveis esse é um parâmetro de significativa importância (Abeyundara, Babel, & Gheewala, 2009). Nesse sentido, surge o conceito de Análise de Ciclo de Vida Energético (Ramesh, Prakash, & Shukla, 2010).

Essa análise energética das edificações divide-se em quatro categorias principais: energia incorporada inicial, energia operacional, energia incorporada recorrente e energia de demolição (Ramesh et al., 2010). A energia incorporada inicial compreende toda aquela usada na fabricação dos materiais usados para a construção, desde a extração até a sua destinação final, incluindo a extração da matéria prima, o transporte da matéria prima para a fábrica, processo de fabricação e o produto para o consumidor, bem como a construção do edifício (Khasreen, Banfill, & Menzies, 2009).

A energia operacional é aquela consumida na fase de uso do edifício, para aquecimento da água, iluminação, instalações de climatização e outras atividades operacionais similares (Dixit et al., 2013). Essa ocorre no período em que há maior consumo de energia total do ciclo de vida de um edifício (Hegner, 2007). A energia incorporada recorrente compreende aquela utilizada em manutenções ou reformas na reabilitação de edifícios, também chamada de *retrofit* (Rameshet al., 2010). Por fim, demolição, fase que o empreendimento se torna inutilizado por meio de um processo de demolição até o descarte final que pode ser reusado, reciclado ou depositado em aterro (Degani & Cardoso, 2002).

Vários autores indicam que existe um enorme potencial de economia a ser estudado, tratado e otimizado em relação à eficiência energética dos edifícios a serem construídos e dos edifícios já existentes (Lowe, 2000; Juan, Gao, & Wang, 2010). No contexto mais geral, em vários países, inclusive no Brasil, políticas de incentivo à conservação de energia estão sendo implementadas, com o propósito de reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa, entre outros objetivos (Altoé et al., 2017).

O Programa de Eficiência Energética (PEE) é um exemplo de tais políticas, em que o objetivo principal é promover o uso racional e eficiente de energia elétrica em todos os setores da economia (ANEEL, 2013). Dentre os instrumentos implantados destaca-se a Lei Federal n. 9.991

(2000), que direciona recursos, atualmente, 0,5% da receita operacional líquida, pelas concessionárias ou permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, em Programas de Eficiência Energética, conforme estabelecido na Resolução Normativa n. 556 (2013) pela ANEEL (ANEEL, 2013).

A Etiquetagem de Edificações é outro exemplo de política com incentivo à economia de energia. Obrigatória desde agosto de 2014 em edifícios da Administração Pública Federal. Segundo a Instrução Normativa n.2 (2014) os edifícios novos, a serem alugados ou construídos, e reformas acima de 500m<sup>2</sup> devem visar, obrigatoriamente, à obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classe “A”. O instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (Inmetro) estabelece os requisitos de avaliação para eficiência energética de edificações, que seguem os critérios do PROCEL-Edifica.

No setor público estadual, no entanto, essa legislação ainda não é obrigatória, ainda que haja recomendações nesse sentido. Nesse contexto, essa dissertação propõe o estudo do tema “Eficiência Energética em Escolas”, baseado nos critérios de etiquetagem do PROCEL-Edifica, com o propósito de contribuir com o detalhamento das estratégias e ações com a ideia de estender esse método no âmbito do estado. Para isso, foi definido que a Escola Estadual Padre Antão, localizada na cidade de São Paulo, seria o objeto de estudo para medidas de eficiência energética.

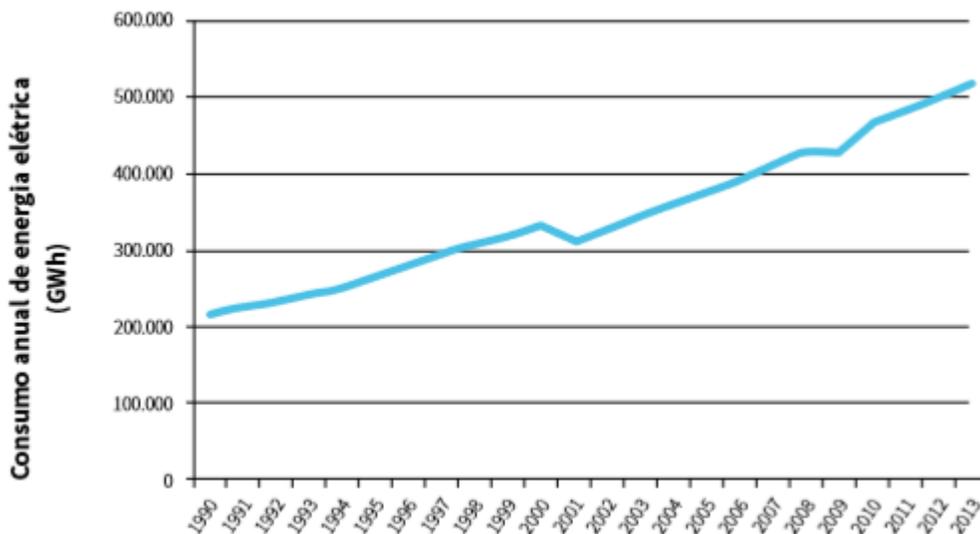
## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A maior parte da geração de eletricidade no Brasil, cerca de 68,1%, corresponde às grandes usinas hidrelétricas (Brasil, 2016), tornando o setor de energia um dos menos intensivos em carbono do mundo (IEA, 2018). No entanto, a expansão contínua da energia hidrelétrica é cada vez mais limitada pelo afastamento e pela sensibilidade ambiental de grande parte do recurso remanescente. Assim, a dependência de outras fontes de geração de energia está crescendo, especialmente gás natural, eólica e bioenergia (IEA, 2018), além da necessidade de medidas de eficiência energética para reduzir e postergar investimento governamentais em expansão da capacidade instalada para produção de energia, bem como os impactos ambientais locais e globais (Goldemberg & Lucon, 2007).

Nesse sentido, a eficiência energética é um dos temas centrais na discussão sobre como garantir qualidade de vida e desenvolvimento de maneira sustentável. Segundo a Agência

Mundial de Energia os ganhos com eficiência energética no ano de 2017 contribuíram para uma demanda de 12% a menos de energia global. No entanto, nesse mesmo ano a demanda global por energia aumentou quase 2% em relação ao ano anterior. Esse foi o crescimento mais rápido nessa década, impulsionado pelo crescimento econômico e mudanças no comportamento do consumidor (IEA, 2018).

No Brasil, o contexto também é de aumento no consumo de energia, principalmente na demanda de energia elétrica e por combustíveis de transporte, apoiada no crescimento econômico e da classe média (IEA, 2018). A Figura 1 demonstra esse aumento do consumo de energia elétrica no Brasil, no período de 1970 a 2013. Observa-se que a única redução na demanda de energia ocorreu apenas no ano de 2001, após a crise energética, quando foram implantados programas de redução de consumo de energia em todo o país (CBCS, 2014). A previsão para os próximos anos é que esse aumento permaneça no longo prazo. O Plano Nacional de Energia (PNE) prevê, por exemplo, aumento significativo na média de número de aparelhos eletrodomésticos por residência tais como televisores, geladeiras e chuveiros elétricos, além do aumento do número de domicílios com iluminação elétrica.



**Figura 1: Consumo de energia elétrica no Brasil, 1970–2013. Fonte: CBCS (2014).**

O setor de edificações, considerando também o ambiente construído, destaca-se, por se tratar do maior consumidor final de energia no mundo, no Brasil é responsável por 48,5% do consumo de energia elétrica (CBCS, 2014).

No ano de 2016, o setor das residências no Brasil, com um total de 63 milhões de domicílios, com consumo residencial de 124 TWh de energia elétrica, representou 44% do consumo energético total do setor. Estima-se que em 2050 o total de domicílios será 98 milhões, com consumo elétrico de 67% do consumo energético total do setor (CBCS, 2014). Esse aumento está diretamente relacionado com o crescimento da população e pelas mudanças nos hábitos de vida das pessoas (Memon, 2014).

No setor de serviços, comerciais e públicos o consumo atual de energia elétrica é 89% da energia total. Estima-se que em 2050 o consumo elétrico aumente para 92% do total do setor (CBCS, 2014). Isso indica que em um ambiente de maior crescimento econômico deve se esperar maior crescimento da demanda de energia (Tolmasquim, Guerreiro, & Gorini, 2007).

Dada a grande importância atribuída ao setor de energia em edificações, políticas de eficiência energética estão sendo implantadas. Em adição aos programas e políticas citados, há para as edificações o programa Edifica, uma parceria entre o INMETRO e a Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás, em que se classificam as edificações de acordo com o consumo energético. Nos Edifícios Públicos Federais, segundo a legislação, a partir de 2014 é obrigatória a obtenção de classificação “A” do selo em prédios novos ou grandes reformas.

Contudo, nas esferas Estaduais e Municipais ainda não existe a obrigatoriedade de seguir esse programa, o que leva a uma preocupação, já que essas também representam parcela significativa das edificações públicas existentes. As escolas brasileiras de ensino médio, por exemplo, são predominantemente estaduais, cerca de 68,13% (INEP, 2017), além disso, destacam-se pelo grande número de edificações e pelo uso intenso de carga de iluminação na sua matriz energética.

Para além de números, destaca-se a questão de que os órgãos públicos, em qualquer das esferas, devem servir de exemplos para a população como um todo. Devem-se atentar em conceber edificações funcionais, eficientes energeticamente e voltadas ao meio ambiente (Borges & Moraes, 2013).

### 1.1.1 Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa que orienta esse trabalho é: como utilizar os critérios do PROCEL-Edifica como base para definição de plano de ações para melhoria da eficiência energética na Escola Estadual Padre Antão /SP?

## 1.2 OBJETIVOS

Neste item são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos dessa pesquisa.

### 1.2.1 Geral

O objetivo geral do trabalho é propor ações para a melhoria da eficiência energética na Escola Estadual Padre Antão, tendo como base os critérios do PROCEL-Edifica.

### 1.2.2 Específicos

- a) Classificar o perfil energético do prédio a partir do processo de Etiquetagem de Edifícios do PROCEL-Edifica;
- b) Identificar oportunidades de melhorias tecnológicas e de materiais, a partir do perfil energético calculado, para o aumento da eficiência energética do edifício.
- c) Estimar custo/benefício para implantação dessas melhorias;
- d) Fazer uma análise crítica de características selecionadas do modelo de etiquetagem do PROCEL-Edifica.

### 1.3 JUSTIFICATIVA PARA ESTUDO DO TEMA

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2013), as emissões globais de gases de efeito estufa estão em progressivo aumento o que pode provocar a longo prazo um aumento de até 2° C na temperatura média global. Abordar a questão das mudanças climáticas globais e reverter a tendência do aumento do consumo de energia é essencial para reduzir o impacto da mudança climática.

Em vários estudos as edificações são apontadas como responsáveis por uma importante parcela do aquecimento global e pelas mudanças climáticas, já que respondem por alto consumo de energia e da emissão de gases de efeito estufa (Juan *et al.*, 2010). A energia é utilizada nas edificações para aquecimento e refrigeração, água quente, iluminação e eletrodomésticos, e a maior parte dessa energia vem da queima de combustível fóssil, que representou 81,23% do consumo mundial de energia em 2011(Ahmad *et al.*, 2016).

O Brasil, no entanto, tem se destacado em comparação com o resto do mundo, por apresentar reduzidos índices de uso de combustíveis fósseis e de emissão de gases em sua produção de energia, o que se deve à elevada participação de energias renováveis na matriz energética (Tolmasquim *et al.*, 2007), cerca de 41,1% do total (Brasil, 2016). Porém, mesmo considerando essa elevada participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira em relação a outros países, estimativas apontam o aumento de emissões de gases de efeito estufa para os próximos anos. Projetam-se emissões de 970 milhões de tonelada de CO<sub>2</sub> em 2030 (Tolmasquim *et al.*, 2007).

Nessas condições, deve se considerar iniciativas que promovam o uso mais eficiente de energia e que podem desempenhar um papel importante na mitigação dos impactos das mudanças climáticas. A otimização dos recursos energéticos apresenta-se como uma alternativa com potencial de alavancar o crescimento econômico, por promover aumento na produtividade, reduzindo elevados investimentos na infraestrutura e ainda reduzindo os impactos ambientais associados ao crescimento. É, portanto, parte essencial no processo de desenvolvimento sustentável (PNE, 2007). Avalia-se que o setor das edificações pode contribuir nesse processo de desenvolvimento- primeiro, por meio da redução da demanda; isto é, a conservação de energia e, em segundo lugar, maximizando o uso de energia renovável (Dowd & Mourshed, 2015).

Nesse estudo, trabalha-se com o sistema PROCEL-Edifica de avaliação e etiquetagem de eficiência energética em edifícios. Esse método, já consagrado no âmbito Federal, é exigência legal para edifícios novos a serem construídos ou reformas acima de 500m<sup>2</sup>. Com a ideia de estender esse método no âmbito do estado a escolha do objeto de estudo é em um prédio público do governo estadual, o qual não apresentam a etiqueta do PROCEL, por não haver exigência legal.

Outra motivação adicional é a possibilidade da proposta desse projeto ser submetido e selecionado pelas empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica para direcionarem os seus recursos estabelecidos pela Lei n. 9.991 (2000) no PEE. No âmbito da AES Eletropaulo, distribuidora de energia elétrica para parte dos municípios da região metropolitana de São Paulo e da própria cidade de São Paulo, já existem diversos projetos do poder público concluídos, boa parte em escolas públicas. Por exemplo, o projeto “Eficiência Energética – 100 Escolas”, finalizado em 2010 com custo de R\$ 2.947.652,67 e que proporciona uma economia de energia de 2669,00 MWh por ano (AES Eletropaulo, 2015).

Além disso, é no período operacional, quando o prédio é efetivamente usado, em que se apresenta maior consumo energético. Dessa maneira, o processo de *retrofit* em uma edificação pode oferecer oportunidades significativas para reduzir o consumo global de energia e as emissões de gases de efeito estufa. Isso está sendo considerado com uma das principais abordagens para alcançar a sustentabilidade no ambiente construído a um custo relativamente baixo e a altas taxas de aceitação (Ma, Cooper, Daly, & Ledo, 2012). Por isso a importância desse estudo, que visa investigar oportunidades de melhorias de inovações tecnológicas e de materiais para o aumento da eficiência energética, pela busca da sustentabilidade, ser em um prédio existente e ativo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta conceitos que fundamentaram o estudo, relativos ao ciclo de vida das edificações e economia energética, sustentabilidade e eficiência energética em edificações e no setor público, certificações e etiquetagem, etiqueta PBE e por último sustentabilidade e eficiência energética em escolas.

### 2.1 CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES E ECONOMIA ENERGÉTICA

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia para avaliar a carga ambiental de produtos e serviços (Warburg, Braune, Eyerer, Herrmann, & Gallon, 2005). A ACV considera todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas até à fase de fim de vida, por exemplo, descarte da demolição de um edifício (Hendrickson, Lave, & Matthews, 2006). A Norma ISO 14040 define as fases de uma ACV da seguinte maneira (ABNT, 2009): a) definição de objetivo e escopo, b) análise de inventário do ciclo de vida que, envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto c) avaliação do impacto do ciclo de vida d) interpretação dos resultados.

No setor da construção essa ferramenta tem sido utilizada desde 1990 (Taborianski & Prado, 2004). Para quantificar o impacto ambiental dos edifícios, a ACV abrange o uso de materiais e energia, bem como todas as emissões contribuídas pelo sistema de produtos de forma holística (Fawaz *et al.*, 2016). Segundo Ramesh *et al.*, (2010) os aspectos mais significativos estão associados ao consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação, que é dividido basicamente em três fases: construção, uso e demolição. Dessa forma, uma abordagem efetiva para discriminar e mensurar tal consumo seria a análise energética durante o ciclo de vida da edificação.

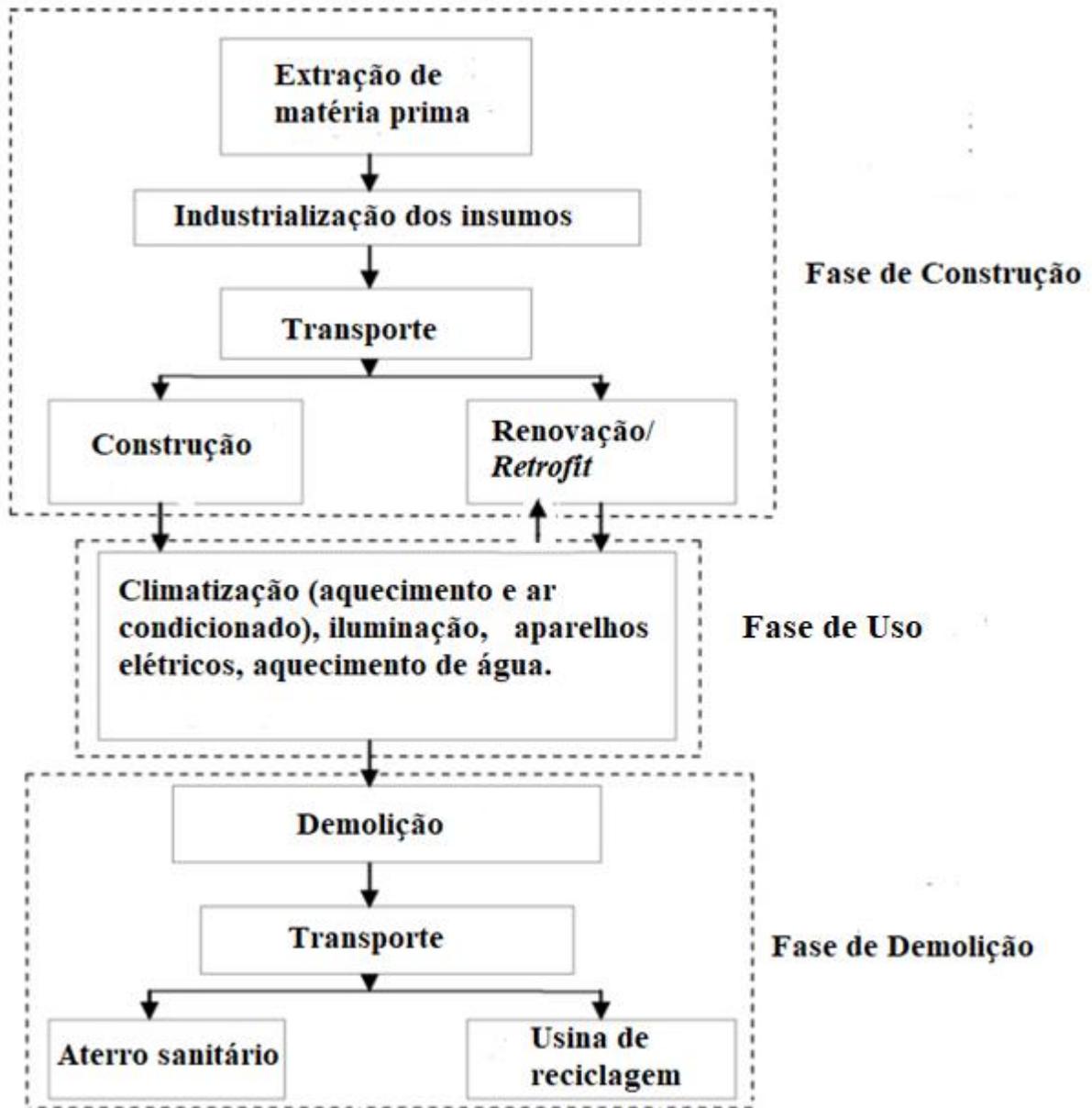
A fase de construção inclui todo o processo para a produção do edifício, começando pela extração e transporte da matéria-prima, industrialização dos insumos, transporte dos materiais, e a construção do edifício em si. Nessa fase, o uso da energia é denominado como energia incorporada inicial, ou seja, é a energia incorrida para a construção inicial do edifício (Ramesh *et al.*, 2010).

A fase de uso é a etapa de uso do empreendimento pela ocupação dos usuários (Degani & Cardoso, 2002). A energia nessa fase é chamada de energia operacional, utilizada para a manutenção de condições de conforto e dia-a-dia de manutenção dos edifícios como, a energia para climatização (aquecimento e ar condicionado), iluminação, e consumida pelos aparelhos elétricos. O uso da energia operacional em grande parte varia de acordo com o nível de conforto exigido pelas condições climáticas, finalidade da edificação e horários de funcionamento (Ramesh *et al.*, 2010). Essa é a fase mais longa do ciclo de vida, com uma média de 30 anos ou mais, e de maior impacto ambiental referente ao consumo de energia elétrica e água (Ortiz-Rodríguez, Castells, & Sonnemann, 2010).

É durante essa fase do ciclo de vida da edificação que podem ser executadas manutenções e reformas/*retrofit*. A energia incorrida para tal processo de substituição é contabilizada como energia incorporada recorrente (Ramesh *et al.*, 2010).

O processo de *retrofit* vem sendo uma opção de melhoria dos aspectos ambientais, econômicos e sociais do ciclo de vida da edificação, principalmente em relação ao desempenho energético (CBCS, 2014). Certos estudos mostram que investimentos relativamente baixos para essas reformas podem trazer resultados satisfatórios a médio e longo prazo para as edificações, tornando-as mais sustentáveis (Ma *et al.*, 2012). Esta é uma estratégia de interesse para políticas públicas que pode representar a renovação de um edifício, até mesmo com troca de uso. As edificações construídas nas décadas de 1960 e 1970 podem se destacar neste tipo de trabalho de readequação e reocupação de centros antigos (CBCS, 2014).

Por último, considera-se a energia de demolição, energia gasta nas atividades de demolição da construção e transportes dos resíduos para descarte ou reciclagem (Ramesh *et al.*, 2010). A análise de energia do ciclo de vida das edificações é ilustrada na Figura 2.



**Figura 2:** Análise de energia do ciclo de vida das edificações. Fonte: Ramesh *et al.*, (2010) com tradução da autora.

## 2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

No Brasil, a demanda no consumo energético nas edificações apresenta rápido crescimento, relacionado parcialmente para o atendimento da demanda criada nos edifícios. Isso tem chamado a atenção para a necessidade de adotar mais medidas de eficiência energética neste momento, pois as escolhas de sistemas instalados agora irão interferir na demanda de energia ao

longo das próximas décadas. Além disso, a geração de energia elétrica no Brasil está cada vez mais “suja” com aumento na liberação de gases de efeito estufa. Ambas tendências têm se intensificado devido à recente escassez de chuva (CBCS, 2014).

Dentre as oportunidades para alcançar um padrão eficiente e minimizar a construção de novas edificações operadas com altos consumos energéticos, Roméro e Reis (2012) apresentam 3 tipos de tecnologias que tratam de consumo energético nas edificações: tecnologias passivas, ativas e proativas. As tecnologias solares passivas, as envoltentes verticais e horizontais, opacas e transparentes, utilizam das condições climáticas do local para atingir os níveis de conforto ambiental e eficiência energética. Não demandam utilização de nenhum tipo de energia para o seu funcionamento, apenas a energia solar eletromagnética. Essa deve ser pensada antes mesmo da elaboração do projeto da edificação.

Contudo, observa-se que a introdução de tecnologias passivas de climatização implica uma maior exposição do ambiente interno e dos usuários às condições ambientais externas, o que dificulta atender aos índices de conforto térmico (Gonçalves & Duarte, 2006). O que torna necessário um cuidado maior do projetista para essa aplicação.

Em um segundo momento, analisa-se a possibilidade das tecnologias ativas. Entende-se por tecnologias ativas como complemento das passivas e que ainda geram consumo energéticos. Depois de analisada as possibilidades dessas duas variáveis, passivas e ativas, pode-se pensar em automação predial, que tem como função principal o gerenciamento das variáveis (Roméro & Reis, 2012). Com a implantação da Internet das coisas (Internet of Things – IoT ou Web of Things), tecnologia que permite maior comunicação entre sensores, controladores e os “objetos” habilitados a se comunicar, bem como maior e melhor gerenciamento e controle das edificações, um novo patamar na automação deverá ocorrer (Dutton, 2014). Modelos pré-estudados do comportamento dos usuários e dos aparelhos contribuem para otimizar os sistemas de automação voltados a eficiência energética (Baldi, Michailidis, Ravanis, & Kosmatopoulos, 2015). A implantação dessa tecnologia é irreversível e deve causar uma grande inovação social, econômica e de serviços (Dutton, 2014). A Figura 3 mostra exemplos desse tipo de tecnologia.

Tecnologia	Oportunidade de melhoria
Automação da iluminação	Eliminação ou redução de desperdícios por controle mais efetivo, independente do usuário ou facilitado para ele (R. Y. M. Li, 2013).
Película polarizada com controle de transparência	Assim chamadas janelas “inteligentes” ajudam a controlar a incidência de luz solar, melhorando a sensação térmica e otimizando o uso de refrigeração e aquecimento artificiais (Azens & Granqvist, 2003)

**Figura 3: Exemplos de Automação.** Fonte: autora baseado nos autores citados.

Por último, analisa-se as tecnologias proativas, que não podem ser consideradas passivas, tampouco ativas, pois não geram dispendidos energéticos, e sim ofertas de energia (Romero & Reis, 2012). Essas também são chamadas de fontes de energia não-convencionais, originam-se de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por essa razão, são praticamente inesgotáveis e não interferem no balanço térmico do planeta. Incluem-se nessa categoria a energia eólica (a partir da força dos ventos), de biomassa (a partir de matéria orgânica de origem animal e vegetal) e a solar (a partir da captação da luz do sol), essas são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida (Pacheco, 2006).

Os painéis fotovoltaicos são uma das mais promissoras tecnologias de energia renovável para alcançar o desenvolvimento sustentável (Tiwari, Mishra, & Solanki, 2011), são frequentemente montados em telhados de casas, bem como em edifícios não residenciais (por exemplo, escritórios, hotéis, escolas).

Os geradores eólicos também são um recurso de que os proprietários ou administradores do edifício podem lançar mão no sentido de obter ganhos energéticos de maneira renovável. Em geral, a disponibilidade solar e eólica tende a ter algumas características complementares (ou seja, quando a disponibilidade solar é baixa, a disponibilidade do vento tende a ser alta, e vice-versa), o que sugere que a energia solar e a energia eólica compensam um ao outro em diferentes épocas do ano. Isso contribuiu para o desenvolvimento de sistemas híbridos de energia eólica e painéis fotovoltaicos tanto em escala de serviços públicos quanto em pequenos sistemas autônomos (Nandi & Ghosh, 2010; Celik, 2002).

A Figura 4 mostra alguns exemplos dessas tecnologias: passivas, ativas e proativas; e suas respectivas vantagens no desempenho energético das edificações.

<b>Tecnologias Passivas</b>	<b>Vantagem</b>
Procurar melhorar a iluminação natural	Redução na demanda de energia para iluminação artificial(Roisin, Bodart, Deneyer, & D’herdt, 2008)(Moraes & Claro, 2014).
Protetores solares exteriores	Protege contra o excesso de exposição a radiação solar, melhorando o conforto térmico(Venâncio & Pedrini, 2008), (Gutierrez & Labaki, 2005)(Maragno, 2000).
Vidros especiais com menor transmitância térmica e de UV	Reduzir o calor e os raios UV associados à luz natural (ARCOweb, 2005)(M. A. M. A. Ferreira, 2009)(Lamberts, Ghisi, Pereira, & Batista, 2010).
Uso de luz solar “encanada”	Aproveitamento luz natural (redução no uso de iluminação artificial)(Jenkins & Muneer, 2003).
Ajustar a abertura das fachadas (mais ou menos envidraçadas)	Melhorar aproveitamento luz natural (Cheung, Mui, & Wong, 2015)(C. C. Ferreira & Souza, 2009).
<b>Tecnologias Ativas</b>	<b>Vantagem</b>
Substituir lâmpadas convencionais por LEDs	Eficiência energética (menor consumo) (Steele, 2007)(Yeh & Chung, 2009)(Krtati, 2015).
Escolha adequada de equipamentos de refrigeração	Redução no consumo de energia(Cheung et al., 2015)
<b>Tecnologias Proativas</b>	<b>Vantagem</b>
Aquecedor solar de água	Grande economia de energia e potencial de redução de emissões (Li, Yang, & Lam, 2013)
Painéis fotovoltaicos	Geração de energia limpa, por meio da luz solar, não causa ruído ou poluição (Ristimäki, Säynäjoki, Heinonen, & Junnila, 2013).
Turbinas eólicas de pequeno porte	Geração de energia limpa, por meio do vento (Li <i>et al.</i> , 2013)

**Figura 4: Exemplos de Tecnologias Passivas, Ativas e Proativas e suas respectivas vantagens. Fonte:** Ferrador Filho (2017), Roméro e Reis (2012)e autora baseado nos autores citados.

### 2.2.1 Aspectos econômicos da eficiência energética em edifícios

Existem numerosas alternativas viáveis de modernização com custos variáveis e diferentes potenciais de economia de energia disponíveis para os edifícios (Kumbaroğlu & Madlener, 2012). Dessa maneira, faz-se necessário o uso de técnicas de avaliação econômica que permitam a seleção das medidas de *retrofit* mais eficazes. Isso, por sua vez, contribui para a tomada de decisão em fazer um projeto ideal de *retrofit* de edifício (Maet *al.*, 2012). Uma melhoria no desempenho energético é, portanto, muitas vezes o resultado de um processo de otimização de escolha de uma seleção de medidas tecnicamente favoráveis e custo efetivos (Kumbaroğlu & Madlener, 2012).

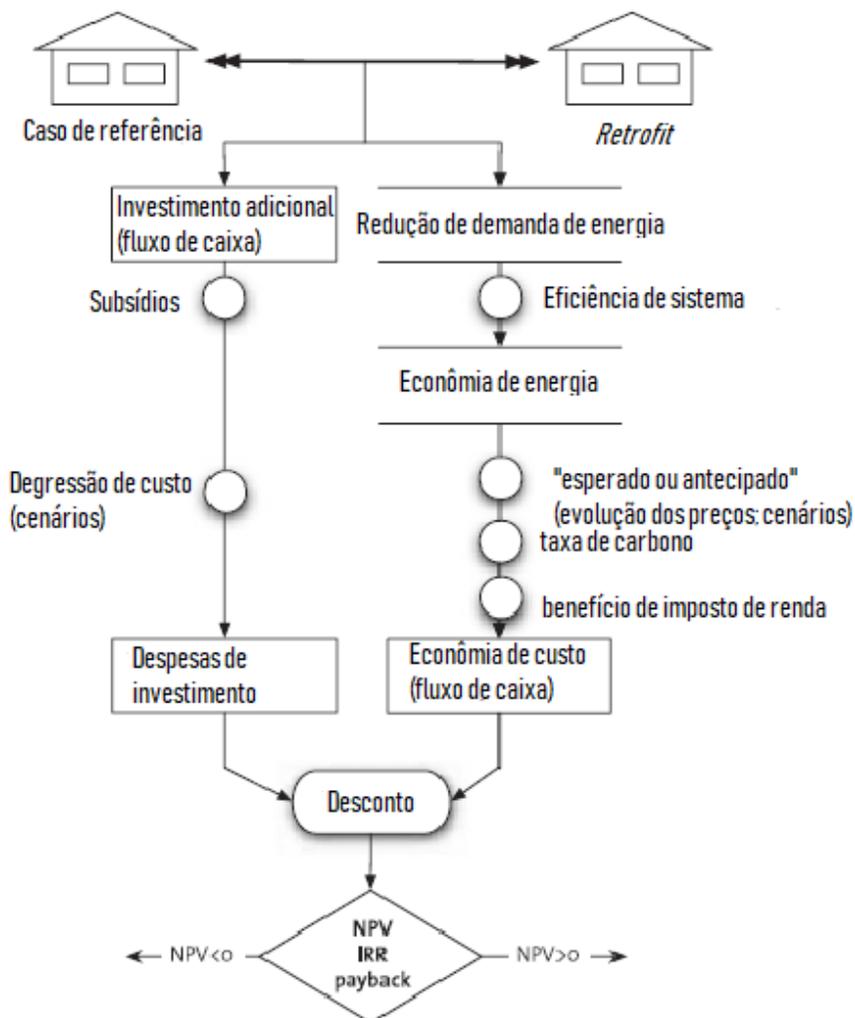
Essa seleção de medidas necessita primeiro uma avaliação técnica detalhada de aspectos da edificação como, da envoltória, sistemas de fornecimento de energia para aquecimento e resfriamento e propriedades climáticas externas e internas, permitindo a identificação e cálculos mais precisos de potenciais economias de energia para em seguida avaliar o custo benefício e identificar as opções viáveis (Kumbaroğlu & Madlener, 2012).

Uma variedade de métodos de análise econômica pode ser usada para avaliar a viabilidade econômica de medidas de *retrofit* de edifícios. Alguns deles, como o valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), a taxa global de retorno (TRG), custo-benefício relação (BCR), descontado o período de retorno (DPP), e período de retorno simples (SPP), pode ser usado para avaliar a viabilidade econômica das opções de melhorias. Alternativamente, o método do custo do ciclo de vida, o custo nivelado da energia e outros métodos avançados de análise podem ser usados para avaliar a relação custo-eficácia de várias alternativas (Kreith & Goswami, 2007).

Uma vez que todos os parâmetros tecno-econômicos tenham sido identificados, as escolhas economicamente otimizadas podem ser determinadas comparando-se as despesas de investimento com a economia de custos esperada da conservação de energia usando métodos padrão da economia de engenharia (Kumbaroğlu & Madlener, 2012). Em outras palavras, a seleção de medidas de *retrofit* é uma troca entre investimento de capital e benefícios que podem ser alcançados devido à implementação das medidas de *retrofit* (Kreith&Goswami, 2007).

A Figura 5, de acordo com Amstalden, Kost, Nathani e Imboden (2007), demonstra o processo na análise de investimento da modernização com eficiência energética. A análise de

investimento compara os custos de investimento adicionais de várias medidas de retroajuste com eficiência energética com a economia de custos de energia resultante durante a vida útil do investimento. Considera-se os benefícios adicionais dos instrumentos de política energética, que são financeiramente relevantes para os investidores (subsídios, dedução do imposto de renda e um imposto sobre o carbono). Bem como diferentes cenários de redução de custos e preço de energia.



**Figura 5: Conceito da análise de investimento. VPL: valor presente líquido; TIR: taxa interna de retorno. Fonte:** Amstalden, Kost, Nathani e Imboden (2007) com tradução da autora.

### 2.3 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR PÚBLICO

Globalmente, as medidas de eficiência energética geraram economia de energia (Geller, Harrington, Rosenfeld, Tanishima, & Unander, 2006). Governos regionais e nacionais apoiam melhorias na eficiência energética em edifícios, públicos e privados, por meio de incentivos diretos ou indiretos (Derenski, Porse, Gustafson, Cheng, & Pincetl, 2018).

Exemplo disso na administração pública no Brasil é a Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), programa do Ministério do Meio Ambiente, que visa estimular a implementação de práticas de sustentabilidade nos órgãos públicos do país. A adoção a este programa demonstra a preocupação do órgão em buscar a eficiência na atividade pública, fazendo-se melhor uso do dinheiro público, enquanto proporciona a preservação do meio ambiente (MMA, 2018).

A A3P estrutura-se em cinco eixos temáticos que norteiam a execução de seus trabalhos: Uso racional dos recursos; Gestão adequada dos resíduos gerados; Qualidade de vida no ambiente de trabalho; Sensibilização e capacitação dos servidores; Licitações Sustentáveis (MMA, 2018).

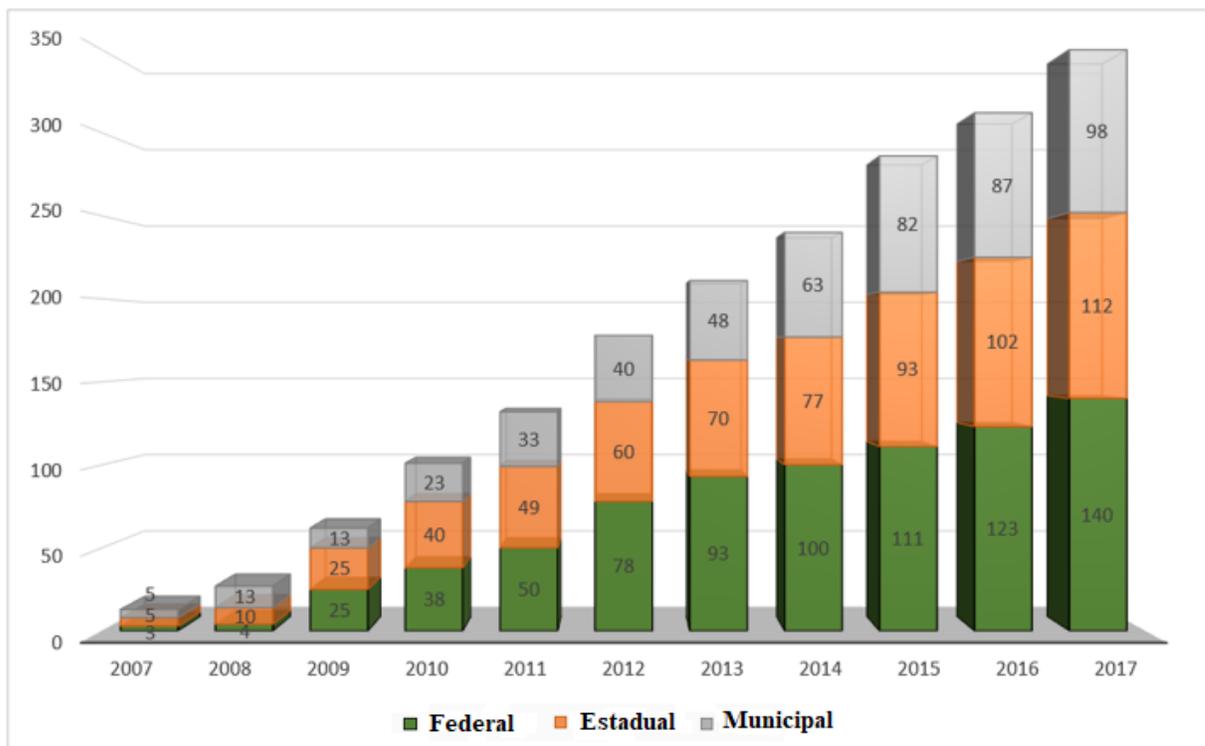
No ano de 2011 a empresa Eletronorte teve seu projeto, Programa Educacional para Uso Racional de Energia nas escolas públicas de Tucuruí/PA, premiado em primeiro lugar pela A3P na categoria uso racional dos recursos naturais e bem públicos. Esse projeto foi bem sucedido nas 32 escolas municipais de Tucuruí, haja vista os resultados qualitativos e quantitativos comprovados por todas elas. A economia de energia com o programa educacional implantado nessas escolas foi de 84.813 kWh, suficiente para fornecer energia para 129 residências com consumo de 110 kWh por um período de seis meses, considerando a realidade da Região Norte do Brasil (MMA, 2018).

Para a implementação da A3P, o MMA determina alguns passos para que se possa seguir: Criação da comissão gestora das ações, grupo responsável pela Agenda na empresa. Essa comissão deverá ser composta de servidores de várias áreas da instituição; b) Em seguida, prossegue-se com o diagnóstico da instituição, identificando pontos críticos e avaliando os impactos ambientais e desperdícios; c) Após o diagnóstico, parte-se para a definição de projetos e atividades, priorizando ações de maior urgência; d) Mobilização e sensibilização, que acontecem na prática por meio de treinamentos e disponibilização de recursos físicos e financeiros e)

Acompanhamento de mensuração por meio de indicadores, os quais norteiam as informações e comparações (Cavalcante, 2012).

Na Figura 6 tem-se adesão à A3P pelos três níveis da Administração Pública: Federal, Estadual e Municipal, do ano 2007 a 2016. Observa-se que a partir do ano de 2012 a esfera Federal abriu certa margem de vantagem de adesão de projetos pela A3P em relação às esferas Estadual e Municipal.

#### n<sup>o</sup>s de compromissos da A3P firmados



**Figura 6: Distribuição dos compromissos da A3P firmados por esfera de governo. Fonte: MMA (2018).**

Outro exemplo de medida governamental, com o objetivo de gerar economia de energia, é a Lei n. 10.295 (2001) que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências, estabelecida pela Presidência da República em que é obrigatório ser seguido por todas as esferas do governo. Dentre as providências têm-se, fundamentos pertinentes de indicadores técnicos, os quais devem ser os máximos níveis de consumo e os mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de

energia. Estabelece também que devem ser desenvolvidos mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país.

### 2.3.1 CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAGEM

Como já citado, para conseguir a redução no consumo de energia, cada país está atualmente implementando políticas para a disseminação de energia nova e renovável. Para isso utilizam dos seus próprios sistemas de certificação com seus critérios e métodos para avaliação e regulamentação (Liyin et al., 2006). Nesse sentido vários termos similares foram usados o que acabou causando confusões no entendimento.

Com o objetivo de esclarecer tais termos considera-se para este texto o estudo realizado por (Pérez-Lombard, Ortiz, González, & Maestre, 2009) na Europa, em que se tem a classificação de uma edificação por três métodos possíveis: “*benchmarking*”, “*labelling*” (etiquetagem) e “*rating*”. O termo classificação de energia de construção compreende todo procedimento que determine a qualidade de um edifício em termos de uso de energia em comparação com outros.

*Benchmarking* é a razão do EPI (*Energy Performance Index*) de um edifício com a média de uma amostra de edifícios similares. Nas edificações um EPI muito comum, por exemplo, é o consumo anual de energia por unidade de área (kWh/m<sup>2</sup> por ano). Mas há outros exemplos também, como energia por trabalhador. Dessa maneira, o EPI é muito utilizado por empresas de serviços de energia como ponto de partida para avaliarem oportunidades de poupança, comparando-se com *benchmarks* existentes (Pérez-Lombard et al., 2009).

Esse processo de avaliação comparativo, *benchmarking*, consiste em quatro etapas. Primeiro, desenvolve um banco de dados com informações sobre o desempenho energético de um número significativo de edifícios categorizados pelo mesmo tipo de construção e tamanho. Em segundo lugar, reúne as informações acerca do desempenho energético do edifício atual. Em terceiro lugar, faz-se um comparativo do desempenho energético do edifício em relação às amostras do banco de dados, assim, quantifica-se a qualidade do edifício em termos de uso de energia. Por último, sugere-se medidas de eficiência energética viáveis a partir da viabilidade técnica e econômica (Pérez-Lombard et al., 2009).

“*Rating*” às vezes é usado para se referir à classificação energética do edifício, outras para sua aplicação, e outras para o resultado. Em geral, a expressão “*energy rating system*” é

usado como sinônimo de “*energy classification*”, que é um método para avaliar a qualidade da energia. Um exemplo é o sistema de classificação de edifícios LEED do *Green Building Council*.

O termo “Labelling” foi introduzido pela Europa em 1990 e constitui em atribuir uma classe ou etiqueta de desempenho de energia. Inicialmente aplicou-se em aparelhos eletrodomésticos; com o sucesso foi aplicada também aos edifícios uma década depois. Essa classe ou etiqueta requer o desenvolvimento de um rótulo relacionado a um índice de etiqueta (Pérez-Lombard *et al.*, 2009).

### 2.3.2 ETIQUETA PBE EDIFICA / PROCEL-EDIFICA

A Instrução Normativa n.2 (2014) dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia, além do uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), do INMETRO, para projetos, para *retrofit* ou para novas edificações da Administração Pública Federal (Brasil, 2014).

O sistema do PROCEL-Edifica pode ser aplicado em duas etapas do empreendimento: na fase do Projeto e na Edificação Construída. Estes são separados em dois grupos: edifícios comerciais, públicos e de serviços e os edifícios residenciais (PROCEL Edifica, 2016).

#### 2.3.2.1 Etiquetagem de Edifícios Comerciais e Públicos

O processo da etiquetagem dos edifícios comerciais e públicos envolve uma análise técnica das características dos mesmos, que incluem certos pré-requisitos e a análise da envoltória do edifício, iluminação e condicionamento de ar. Cada um desses tópicos tem uma avaliação específica para chegar a uma nota individual, que representa uma classificação parcial (ENCE Parcial), cuja combinação em uma equação mais possível ponto de bonificação permitem a pontuação de nível de eficiência geral da edificação, a ENCE Geral. Entende-se como ponto de bonificação uma pontuação extra, relacionada a iniciativas que aumentem a eficiência do edifício como, equipamentos racionalizadores de água (PROCEL Edifica, 2016).

A ENCE Parcial pode ser de três maneiras: envoltória; envoltória e sistema de iluminação; e envoltória e condicionamento de ar. Para todas as combinações a avaliação da envoltória é obrigatória e tem que ser realizada para todo o edifício (PROCEL Edifica, 2016).

A análise de cada um dos temas avaliados pode ser feita pelo método "prescritivo", que utiliza métodos simplificados de cálculo de eficiência e compara com padrões pré-definidos; ou pelo método da simulação, em que o edifício real é comparado com um edifício "ideal" simulado, utilizando *softwares* de engenharia específicos que se enquadrem no manual RTQ-C (PROCEL Edifica, 2016).

Na escolha de qualquer um dos dois métodos o método da simulação é obrigatório para comprovar as temperaturas dentro na zona de conforto de ambientes naturalmente ventilados ou com longos períodos de permanência sem condicionamento durante um percentual das horas ocupadas. Entende-se por ambiente condicionado todo ambiente fechado atendido por sistema de condicionamento de ar (PROCEL Edifica, 2016).

Dessa maneira, a avaliação dos três sistemas pode ser realizada por qualquer um dos dois métodos de avaliação, no entanto, para obtenção da ENCE Geral é necessário que os sistemas sejam avaliados por meio de uma das combinações listadas na Figura 7.

Envoltória	Sistema de Iluminação	Sistema de Condicionamento de Ar	Ventilação Natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

**Figura 7: Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação Geral. Fonte: PROCEL Edifica (2016).**

#### 2.3.2.1.1 Critérios de avaliação e notas para o Método Prescritivo

Para a classificação geral as avaliações parciais recebem diferentes pesos, que são distribuídos da seguinte forma: Envoltória 30%, Sistema de Iluminação 30% e sistema de Condicionamento de Ar 40%. A avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos, um número de pontos correspondente a determinada eficiência, conforme Tabela 1.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

**Tabela 1: Equivalente Numérico para cálculo da Pontuação do edifício. Fonte:** PROCEL Edifica (2016).

A fórmula de cálculo de Pontuação é a seguinte:

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

**Equação 1: Equação geral de classificação do nível de eficiência da edificação pelo método Prescritivo. Fonte:** (PROCEL Edifica, 2016)

- AC (m<sup>2</sup>) é a área útil dos ambientes climatizados;
- AU (m<sup>2</sup>) é a área útil total;
- EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;
- EqNumDPI (valor numérico) - equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;
- EqNumCA (valor numérico) equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
- APT (m<sup>2</sup>) representa a área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não climatizados;
- ANC (m<sup>2</sup>) representa a área útil dos ambientes não climatizados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas em conforto (POC) por ventilação natural pelo método da simulação;
- EqNumV (valor numérico) é o equivalente numérico de ambientes não climatizados e/ou ventilados naturalmente;
- b (valor numérico) representa a pontuação obtida pelas bonificações, que pode variar de zero a 1.

Feito isso, converte-se o valor numérico PT em uma categoria de acordo com a Tabela 2.

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

**Tabela 2: Classificação final a ser aplicada sobre o resultado da fórmula ponderada. Fonte: PROCEL Edifica (2016).**

#### 2.3.2.1.2 Critérios de avaliação e notas para o Método Simulação

O método da simulação avalia o desempenho do edifício por meio da comparação de dois modelos: o edifício proposto (real) e o edifício similar (de referência). O modelo de referência deve seguir os parâmetros do nível de eficiência pretendido estabelecidos no manual RTQ-C. A Figura 8 é uma síntese das características que devem ser seguidas para os modelos de referência para a possível comparação. Deve ser demonstrado que o consumo de energia do projeto proposto é igual ou menor do que o consumo da edificação de referência (PROCEL Edifica, 2016).

Característica da edificação	Modelo de Referência	Modelo Real
Geometria – dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistema de condicionamento de ar	Igual ao edifício proposto com COP mín. do nível desejado	Igual ao edifício proposto
Envoltória PAZ PAF <sub>T</sub> AVS e AHS Tipo de vidro Fator solar Transmitância térmica Absortância Solar	Se existe no real →PAZ= 2% Calcular através do IC AVS=AHS=0 Vidro simples, 3 mm FS=0,87 Máx. p/ eficiência desejada Máx. p/ eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de iluminação	DPI máx. p/ eficiência desejada – Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C	Igual ao edifício proposto

**Figura 8: Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência. Fonte: PROCEL Edifica (2016).**

O EqNumS (equivalente numérico da simulação) para edifícios avaliados pela simulação deve ser calculado por meio da interpolação linear dos consumos calculados dos modelos de referência. Considera-se o ponto de bonificação apenas se esse não estiver na simulação. A pontuação total é calculada pela Equação 2 (PROCEL Edifica, 2016). Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada requisito são obtidos na Tabela 1. O número de pontos obtidos na equação irá definir a classificação geral da edificação de acordo com os limites estabelecidos na Tabela 2.

$$PT = EqNumS + b \frac{1}{0} \quad (2)$$

**Equação 2: Equação geral de classificação do nível de eficiência da edificação pelo método da Simulação. Fonte: PROCEL Edifica (2016)**

Onde:

- EqNumS: equivalente numérico obtido por meio da simulação
- b: pontuação obtida pelas bonificações que variam de 0 a 1.

No entanto, essa classificação pode sofrer interferência caso o EqNumV (Equivalente Numérico da Ventilação), para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionados, não for igual ou maior que EqNumS (PROCEL Edifica, 2016). Portanto, se uma edificação comparada com os modelos de referência tiver EqNumS 4, nível B, mas tiver EqNumV 2, nível C, essa edificação passa a ter como classificação geral nível C. Considera-se sempre o menor nível. Da mesma maneira que se o EqNumV for 5, nível A, a edificação permanecerá com o nível de referência da simulação, B, pois considera-se sempre o menor nível. A Figura 9 indica o equivalente numérico de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) alcançado na simulação.

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC $\geq$ 80%	5	A
70% $\leq$ POC < 80%	4	B
60% $\leq$ POC < 70%	3	C
50% $\leq$ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

**Figura 9: Equivalente numérico para ventilação natural. Fonte:** PROCEL Edifica (2016).

As Figuras 10A e 10B são exemplos de etiquetas de Projeto e Edificação Construída do PROCEL-Edifica/PBE-Edifica. Em que se apresenta o(s) tema(s) avaliado(s): Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar e as respectivas classificações com a cor correspondente do nível de eficiência alcançado em destaque. A Figura 10A refere-se à etiqueta de Projeto já a Figura 10B refere-se à etiqueta de Edificação Construída, em que ambas obtiveram nível A para as 3 categorias analisadas e os pré-requisitos necessários e, portanto, classificação geral de nível A representada pela respectiva cor. Em nenhuma das etiquetas houve ponto de bonificação.

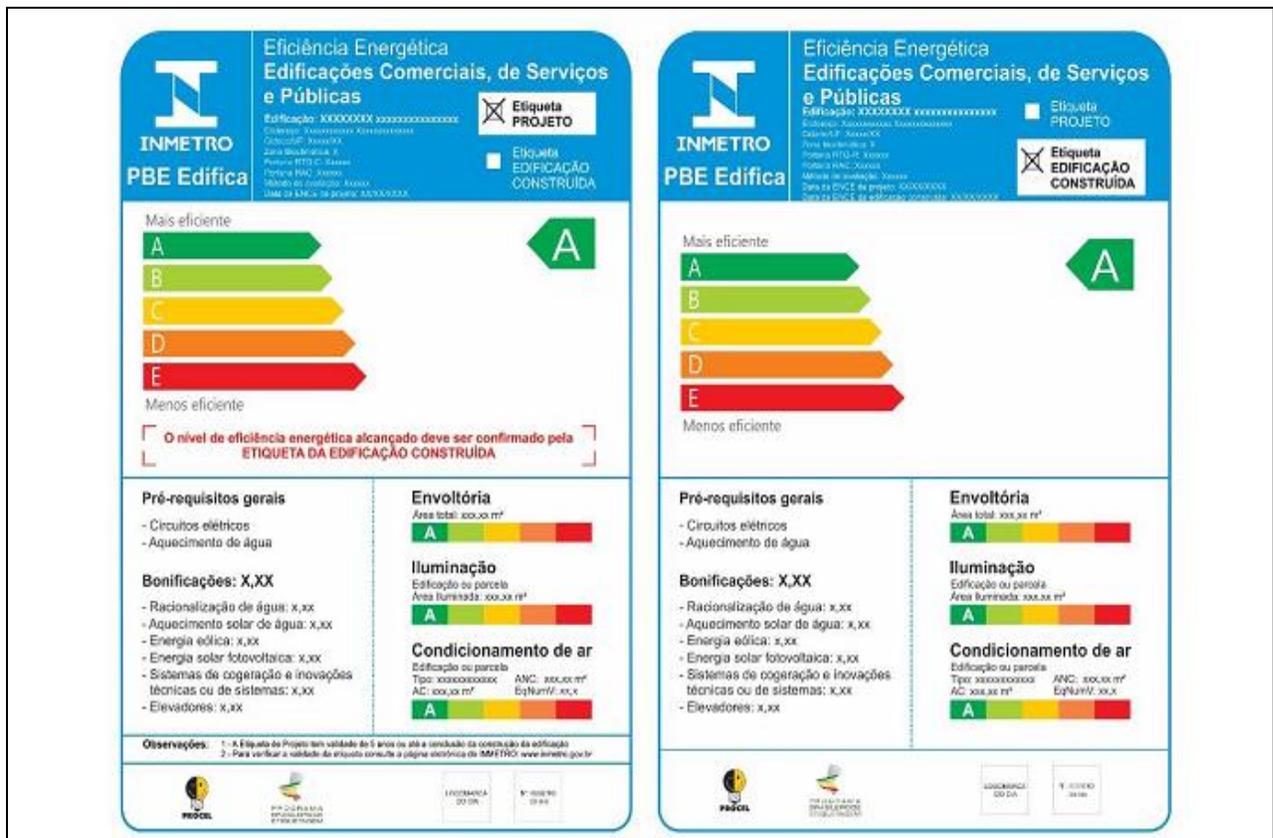


Figura 10A: Etiqueta de Projeto

Figura 10B: Etiqueta de Edificação Construída

Figura 10: Etiquetas de Eficiência Energética. Fonte: PROCEL Edifica (2016).

De acordo com o documento “Resultados 2017”, 193 construções comerciais, de serviços e públicas foram etiquetadas, sendo que 84 dessas etiquetas referem-se a edificações construídas e as demais a projetos (PROCEL & Eletrobrás, 2017).

Os edifícios residenciais possuem outros critérios no PROCELEdifica, que não fazem parte do escopo dessa pesquisa.

### 2.3.2.2 Organismos Acreditados pelo INMETRO

Para um organismo poder emitir oficialmente a ENCE, de acordo com os modelos e as formas de aplicação do Selo descritas no Manual de Identidade Visual do Selo Procel Edificações precisa passar por uma avaliação realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA ou OIA-EEE – Eficiência Energética de Edifícios) pelo Inmetro (PROCEL, 2006). As entidades já acreditadas podem ser consultadas no site do INMETRO na Internet.

No momento, 2 organismos estão ativos acreditados como OIA-EEE (Figura 11).

Nome do organismo	País	UF	Cidade
Fundação Carlos Alberto Vanzolini	Brasil	SP	São Paulo
Universidade Federal de Pelotas - UFPEL	Brasil	RS	Pelotas

**Figura 11: Organismos Acreditados pelo INMETRO.** Fonte: autor, baseado no site do INMETRO ([http://www.inmetro.gov.br/organismos/resultado\\_consulta.asp](http://www.inmetro.gov.br/organismos/resultado_consulta.asp)).

A lista com os edifícios de serviço, comerciais e públicos certificados, no Brasil, com nível de etiquetagem “A” (direito ao Selo PROCEL-Edificações) é disponibilizada em um link no site do PROCEL (<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>) e reproduzida no Anexo A, na Figura AA1.

#### 2.4 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS

Os edifícios escolares são consumidores de energia significativos. São alvos importantes para melhorias na eficiência energética, e dessa maneira podem contribuir para objetivos de política energética dos governos estaduais e federais (Derenski *et al.*, 2018). No Governo do Estado de São Paulo, a Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), responsável por viabilizar a execução das políticas da rede pública estadual de ensino, diz adotar medidas que visam a sustentabilidade em respeito à legislação vigente e às normas fixadas pela própria instituição, tanto para a construção de novas escolas quanto para reforma das unidades já existentes (<http://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=9>).

Dentre as medidas seguidas, destaca-se o “Manual para Gestão de Resíduos em Construções Escolares” lançado pela Diretoria de Obras e Serviços da FDE, que explica detalhadamente, todas as ações necessárias para alcançar eficiência na redução da produção e destinação dos resíduos da construção (<http://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=227>).

Com o objetivo de aferir o nível de sustentabilidade das escolas a FDE submete os projetos e suas obras aos Processos de Etiquetagem Procel e de Certificação Internacional da Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE) conferido pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini. A etiqueta Procel é com o objetivo de atestar a eficiência energética do edifício e a a certificação AQUA-HQE de atestar o nível de atendimento aos requisitos de quatro grupos de desempenho

sustentável: eco-construção: visando ao menor impacto de implantação, canteiro e materiais; eco-gestão dos resíduos e do consumo de energia e água; conforto: térmico, acústico, visual e olfativo; e saúde, pela qualidade sanitária dos ambientes, do ar e da água (<https://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=265>).

Para tanto, constam novos projetos de cálculos, simulações e recomendações relativos a conforto acústico e conforto térmico-luminoso com eficiência energética, para potencializar a competência da arquitetura na demanda por energia, pela adequada orientação solar e escolha de materiais em função das condições climáticas e de uso do edifício (<https://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=265>).

De acordo com FDE (2018) 19 escolas estaduais apresentam-se certificadas e outras 19 estão em processo de certificação AQUA - HQE, bem como duas escolas etiquetadas pelo Procel Edifica e 31 projetos em preparo. A Escola Estadual Ilha da Juventude, na Vila Brasilândia, cidade de São Paulo, foi pioneira neste tipo de edificação na obtenção destes certificados e etiquetas no Brasil (<http://www.fde.sp.gov.br/PagePublic/Interna.aspx?codigoMenu=265>).

No âmbito internacional, alguns casos exemplares se destacam. Nos EUA, a escola Richardsville, inaugurada em 2010, é a primeira escola de energia zero, produz mais energia do que consome. A instalação sustentável de dois andares foi projetada para 550 alunos e tem Certificação de Ouro do LEED (Iyiegbuniwe, 2014).

O prédio foi construído principalmente com materiais renováveis e econômicos, de fácil manutenção. Os principais elementos desse edifício de alto desempenho incluem: construção de parede de concreto isolado e envoltório de construção de alto desempenho; sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (HVAC); iluminação de dia ativa; design compacto de dois andares com volume de construção reduzido; telhado com sistema fotovoltaico. Conforme Figuras 12A e 12B.



**Figura 12A: Cafeteria iluminada apenas com iluminação natural.**

**Figura 12B: Sistema fotovoltaico montado no estacionamento da escola.**

**Fonte:** Sherman Carter Barnhart (2012).

Com a aplicação desses elementos o consumo de energia dessa escola comparado com o consumo de energia da linha de base para edifícios escolares dos EUA é 50% menor, além disso, no ano de 2012, conseguiu-se um acúmulo de crédito de US\$ 21.663,00 pela energia gerada, o que foi devolvido a escola (Sherman Carter Barnhart, 2012).

Outro aspecto é que essa escola representa especial importância social, pois tem-se também um ambiente de aprendizagem mais confortável para estudantes e professores. Observou-se que administradores escolares, alunos, professores e pais apoiaram e abraçaram esses esforços em tornar a escola mais ecológica e ambientalmente sustentável.

Corroborando com isso, outros estudos apontam que os benefícios, como melhorias de iluminação, ventilação e qualidade do ar, advindo da construção de novas escolas ou remodelação dos edifícios escolares pensando no melhor desempenho energético também contribuem para impulsionar o desempenho dos alunos (Bakó-Biró, Clements-Croome, Kochhar, Awbi, & Williams, 2012; Roslizar, Alghoul, Bakhtyar, Asim, & Sopian, 2014).

Em estudo realizado por Haverinen-Shaughnessy, Shaughnessy, Cole, Toyinbo e Moschandreas (2015) constatou-se que baixas taxas de ventilação nas salas de aulas ocasionam altas concentrações de poluentes (microrganismos, partículas e compostos orgânicos voláteis, etc.) bem como diminuição do índice de qualidade interna do ar interno, prejuízos a saúde e absenteísmo de alunos. Certificando isso, em pesquisa realizada por Coley, Greeves e Saxby (2007), constatou-se que níveis aumentados de CO<sub>2</sub> de uma média de 690 ppm (parte por milhão) para uma média de 2909 ppm levam a um prejuízo na capacidade cognitiva de cerca de 5%.

Por outro lado, proporcionar uma ventilação adequada, seja natural ou mecânica, contribuindo para o desempenho de aprendizagem dos estudantes, traz implicações na tentativa da redução do consumo de energia dos edifícios escolares. É um equilíbrio delicado, o projetista deve garantir que o projeto atenda aos requisitos de desempenho de ventilação e energia (Bakó-Biró *et al.*, 2012).

Segundo Bakó-Biró *et al.*(2012) se os edifícios escolares são prejudicados por más condições ambientais esses não podem ser consideradas como sustentáveis, mesmo com desempenho energético eficiente. Dessa maneira, destaca-se a importância de buscar atender a eficiência energética em edifícios escolares em que busque a sustentabilidade nos seus três parâmetros: social, econômico e ambiental.

Outros aspectos, como a percepção dos usuários após o uso da edificação, não foram analisados, existem considerações especiais que vão além dos limites pretendidos dessa pesquisa.

#### 2.4.1 Aspectos técnicos da arquitetura escolar que influenciam no conforto ambiental incorporados pelo FDE

Para atender às exigências da FDE o profissional consultor deverá subsidiar a elaboração do projeto em todas as suas etapas (estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo), formulando recomendações que visem assegurar o conforto térmico, acústico e luminoso, com eficiência energética (FDE, 2011).

##### 2.4.1.1 Conforto térmico e luminoso

Com o objetivo de assegurar o conforto térmico dos usuários e minimizar o consumo de energia elétrica na fase de uso da edificação, conforme às especificações do Catálogo Técnicos do FDE: Projeto Normas: arquitetura (FDE, 2011), o profissional consultor deve priorizar a adoção de sistemas passivos e com baixo custo de implantação e manutenção, dentre eles deverá:

- adotar preferencialmente estratégias naturais para obtenção de conforto térmico e luminoso, utilizar energia artificial como complemento na busca de conservação de energia, sob condição de que os índices de luminosidade sobre as áreas de trabalho sejam garantidos;

- evitar radiação solar direta e aproveitar a radiação indireta, por meio de elementos de proteção solar;
- proteger da radiação direta, principalmente nas carteiras e lousas e iluminar ao máximo com luz natural, com o objetivo de garantir condições de luminosidade uniformes;
- equilibrar as perdas e ganhos de calor por meio da orientação adequada do edifício, do aproveitamento dos ventos para melhorar a ventilação natural e da especificação dos materiais;
- considerar os ventos predominantes no que possam favorecer a ventilação cruzada;
- conciliar as decisões luminotécnicas ao projeto de elétrica.

De acordo com Graça, Kowaltowski e Petreche (2005) as falhas de projeto, em relação às condições térmicas, se relacionam principalmente a orientação solar e a aberturas de ventilação. Dessa forma, alguns aspectos devem ser considerados como, as áreas de vidro (janelas) não devem estar orientadas para leste ou oeste. Os ambientes devem ter proteção solar em forma de beiral e brise (tipo de persiana externa), instalados externamente e detalhadas de acordo com a implantação do projeto. Esses elementos externos de proteção solar são recomendados para se evitar o chamado "efeito estufa".

Em relação às decisões luminotécnicas do projeto de elétrica, o Catálogos Técnicos do FDE: Normas e relatórios – Elétrica (FDE, 2011) determina atender a NBR 5413: 1992, que tem por objetivo estabelecer os valores de iluminância médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, no qual se realizam atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. Define-se iluminância como, “limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero” (ABNT, 1992, p.1), em outras palavras, é uma medida do nível de claridade numa dada área, pode ser medido pelo número total de lúmens em uma determinada área( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), conhecido como nível LUX ou nível de iluminação (Aman, Jasmon, Mokhlis, & Bakar, 2013). Entende-se por lúmens como a medida da quantidade de linhas de luz de iluminação emitida por uma fonte de luz (Aman et al., 2013).

A Figura 13 demonstra os valores de iluminância (lux) para ambientes escolares estabelecidos pela NBR 5413 (ABNT, 1992).

5.2.4.1 Das três iluminâncias, considerar o valor do meio, devendo este ser utilizado em todos os casos. 5.2.4.2 O valor mais alto, das três iluminâncias, deve ser utilizado quando: a) a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos; b) erros são de difícil correção; c) o trabalho visual é crítico; d) alta produtividade ou precisão são de grande importância; e) a capacidade visual do observador está abaixo da média. [...]. 5.2.4.3 O valor mais baixo, das três iluminâncias, pode ser usado quando: a) refletâncias ou contrastes são relativamente altos; b) a velocidade e/ou precisão não são importantes; c) a tarefa é executada ocasionalmente (ABNT, 1992, p.3).

Ambiente	Iluminância (lux)
Salas de aulas .....	200 -300 -500
Quadros negros.....	300 -500 -750
Salas de trabalhos manuais.....	200 -300 -500
<b>Laboratórios</b>	
o Geral .....	150 -200 -300
o Local .....	300 -500 -750
<b>Anfiteatros e auditórios</b>	
o Plateia .....	150 -200 -300
o Tribuna .....	300 -500 -750
Sala de desenho .....	300- 500 – 750
Sala de reuniões .....	150 -200 -300
Salas de educação física .....	100 -150 -200
Costuras e atividades semelhantes .....	300- 500 – 750
Artes culinárias .....	150 -200 -300

**Figura 13: Iluminâncias em lux, por tipo de atividade (valores médios em serviço). Fonte: ABNT (1992).**

Para as salas de aula, por exemplo, o valor mínimo é de 200 lux e máximo exigido é de 500 lux. Já a iluminância nos quadros negros, que compõem as salas de aulas, a iluminância estabelecida apresenta valores maiores se comparados com os valores gerais da sala de aula, com valor mínimo de 300 lux e valor máximo de 750 lux.

Além das normas de apresentação de projetos, o FDE disponibiliza também catálogos que apresentam em detalhes fichas dos ambientes, componentes, serviços, mobiliário e equipamentos escolares. As fichas dos ambientes escolares são em um total de 28, dentre elas a ficha Sala de Aula, na qual o valor mínimo de iluminância exigido são 300 lux e o tipo de lâmpada é fluorescente. No Anexo B está um extrato da ficha ambiente Sala de Aula.

#### 2.4.1.2 Conforto Acústico

Nesse aspecto, conforme às especificações do Catálogo Técnicos do FDE: Projeto Normas: arquitetura (FDE, 2011), o profissional consultor deve:

- garantir que os ruídos produzidos nos diversos ambientes, especialmente no pátio coberto e na quadra de esportes coberta, não interfiram nas atividades desenvolvidas nos outros ambientes;
- orientar em relação à melhor posição das aberturas com o objetivo de evitar fontes de ruídos e vibrações;
- garantir os níveis de ruído do ambiente de acordo com a NBR 10.152:1987;
- adotar tempo de reverberação em torno de 0,6s nas salas de aula, para garantir a inteligibilidade da voz falada.

De acordo com Graça et al. (2005), as soluções para esse tipo de problema consistem na aplicação de materiais acústicos isolantes e fechamento de aberturas, como portas e janelas. A proximidade da área recreativa (pátio coberto ou quadro) à sala de aula deve ser considerado como parâmetro na tipologia do projeto e do andar que a mesma se localiza. Além disso, a implantação de escolas em locais de grande tráfego deve considerar tratamentos acústicos pertinentes.

## 2.5 ENERGYPLUS

O *EnergyPlus* é uma das ferramentas de *software* de simulação de energia em edifícios mais conhecidas. Seu desenvolvimento começou em 1996 patrocinado pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos da América (EUA) (Crawley, Hand, Kummert, & Griffith, 2008), com base na experiência de desenvolvimento com outros dois programas existentes: DOE-2 e BLAST, que até então apresentavam uma simulação sequencial, nos quais as zonas de construção, os sistemas de tratamento de ar e os equipamentos centrais eram simulados

sequencialmente, sem *feedback* de um para o outro (Crawley, Lawrie, Pedersen, & Winkelmann, 2000).

No *EnergyPlus*, no qual é possível a simulações de sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação, outros fluxos de energia e o uso da água (Crawley *et al.*, 2008), os elementos são integrados e controlados pelo *Integrated Solution Manager* (DOE, 2017). Esta solução integrada fornece uma previsão mais precisa da temperatura do ambiente, crucial para o dimensionamento de sistemas e plantas para os cálculos relativos ao conforto dos ocupantes (Crawley *et al.*, 2008).

Em modelos com ventilação natural o programa destina o modelo de conforto adaptativo, que determina a aceitabilidade das condições internas, considerando a temperatura média mensal do ar interno e a temperatura interna de operação. Isso é usado como um índice para a adaptação do ocupante às condições externas, e determina a aceitabilidade das condições internas. O modelo também considera a adaptação de roupas das pessoas em espaços naturalmente ventilados, relacionando-se com a faixa aceitável de temperaturas internas ao clima externo, de modo que não é necessário estimar os valores para o espaço. Não são necessários limites de umidade ou velocidade do ar quando essa opção é usada (DOE, 2017).

O modelo define duas regiões de conforto: 80% de aceitabilidade e 90% de aceitabilidade. Se a temperatura média mensal do ar externo não estiver dentro do domínio especificado de 10.0 a 33.5C, o modelo não é aplicável. Se a temperatura operacional da zona estiver entre os limites inferior e superior, então a ventilação natural é permitida, do contrário a ventilação natural não é permitida (DOE, 2017), conforme mostrado na Figura 14.

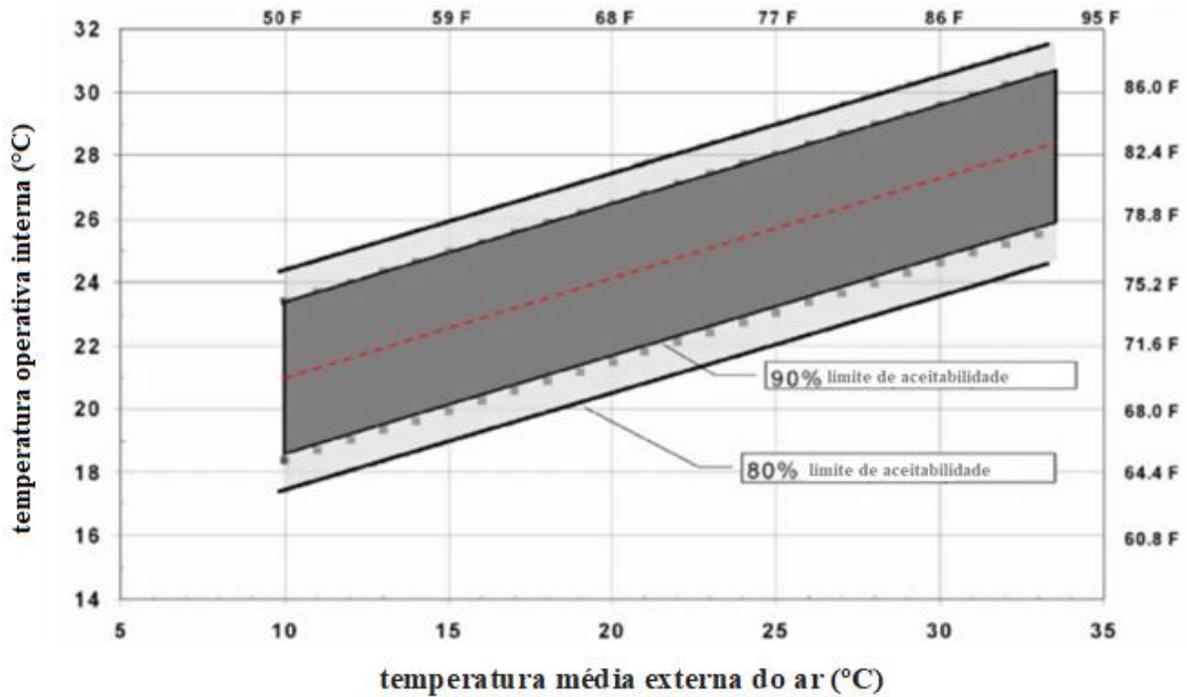


Figura 14: Faixas de temperatura de operação aceitáveis para espaços naturalmente ventilados. Fonte: DO2 (2017).

A linha central do modelo (mostrada em vermelho), ou temperatura de conforto, é definida como:

$$Tot = 0,31To + 17,8 \quad (3)$$

Equação 3: Temperatura de conforto. Fonte: DOE (2017).

Onde:

- *Tot*: Temperatura operativa (°C), calculada como a média da temperatura do bulbo seco do ar interior e a temperatura média radiante da zona no interior das superfícies;
- *To*: Temperatura mensal média de bulbo seco do ar externo (°C).

### 2.5.1 Calibração de modelos gerados pelo *EnergyPlus*

Para que o modelo de simulação de desempenho energético seja usado com algum grau de confiança, é necessário que o modelo existente aproxime do comportamento atual do edifício. Isso pode ser conseguido por meio da calibração do modelo, cuja finalidade é reduzir as discrepâncias entre o modelo de simulação de desempenho energético previsto e o desempenho medido do edifício (Coakley, Raftery, & Keane, 2014).

Nos primeiros anos de simulação de edifícios, os cálculos simples de diferença de percentual eram o principal meio de comparar dados medidos e simulados. No entanto, isso conduziu frequentemente a um efeito de compensação, pelo qual, estimativas positivas anulam as estimativas negativas (Diamond & Hunn, 1981). Com o objetivo de melhor representar o desempenho de um modelo simulado Bronson, Hinchey, Haberl e O’Neal (1992, como citado em Coakley *et al.*, 2014) propuseram a adoção de índices estatísticos padronizados: erro médio (MBE) e coeficiente de variação do erro quadrático médio do percurso (CV RMSE) (%).

O erro médio (MBE) (%) é uma medida de viés não dimensional (ou seja, soma de erros), entre dados medidos e simulados para cada hora. O MBE é um bom indicador do viés geral no modelo. Ele captura a diferença média entre os pontos de dados medidos e simulados. No entanto, o viés positivo compensa o viés negativo (efeito de cancelamento). Portanto, uma medida adicional de erro de modelo também é necessária.

$$\text{MBE (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i)} \quad (4)$$

**Equação 4: CV RMSE. Fonte: Coakley *et al.*, (2014)**

Onde:

- $m_i$  são os dados medidos para cada instante do modelo “i”;
- $s_i$  são os dados simulados para cada instante do modelo “i”;
- $N_p$  é o número de pontos de dados no intervalo 'p'.

A Raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (%) é uma medida da variabilidade dos dados. Para cada hora, o erro ou diferença nos pontos de dados é calculado e elevado ao quadrado. A soma dos erros dos quadrados é a margem para cada mês ou período total, depois são divididos pelo respectivo número de pontos de dados no intervalo, produzindo um erro quadrático (MSE); para cada mês ou o período total. Uma raiz do resultado é então o erro quadrático médio (RMSE).

Por fim, divide-se pela média dos pontos de dados medidos e chega-se ao coeficiente de variação do erro quadrático médio CV (RMSE) (%): Esse índice permite determinar até que ponto um modelo ajusta os dados, capturando erros de configuração entre dados medidos e simulados. Não sofre o efeito de cancelamento.

$$\text{CV RMSE (\%)} = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)^2 / N_p)}}{\bar{m}} \quad (5)$$

**Equação 5: CV RMSE. Fonte:** Coakley *et al.*, (2014)

Onde:

- $m_i$  são os dados medidos para cada instante do modelo “i”;
- $s_i$  são os dados simulados para cada instante do modelo “i”;
- $N_p$  é o número de pontos de dados no intervalo 'p';
- $\bar{m}$  é a média dos pontos de dados medidos.

Assim, a validação de modelos de simulação energética de edifícios pode-se basear atualmente em modelos como CVRMSE e MBE. Os critérios de aceitação de calibração são baseados em índices estatísticos padrão. Para modelos de simulação energética que adotam a norma ASHARE, o critério percentual mensal ou total para calibração de um modelo no método CVRMSE é de 15%, já o percentual por hora neste mesmo método é de 30%. No método MBE o percentual mensal aceito é de 5% e o por hora 10%, conforme demonstrado na Tabela 3.(Coakley *et al.*, 2014).

Diretriz	Critério mensal (%)		Critério por hora (%)	
	MBE	CVRMSE	MBE	CVRMSE
ASHARE Guideline	5	15	10	30

**Tabela 3: Critérios de aceitação de calibração para modelos de simulação de desempenho energético. Fonte: Coakley *et al.*,(2014)**

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo contempla a classificação metodológica da pesquisa. São também apresentadas as fontes de informação utilizadas, quais foram os procedimentos para coleta dos dados e como foram feitas a análise dos dados pelo método da pesquisa.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

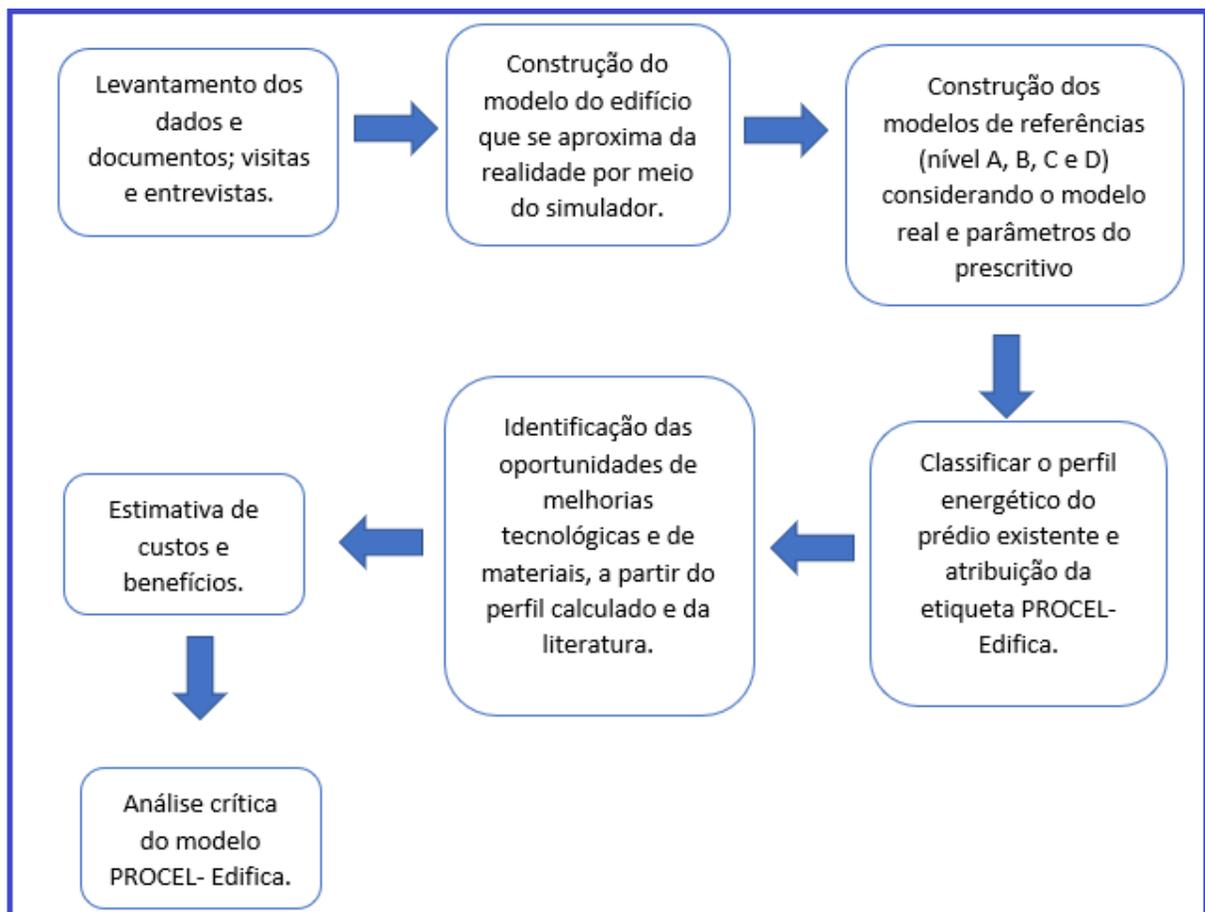
Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa, embora contenha cálculos, pois esses não serão associados a teorias específicas. A abordagem é descritiva, por descrever o consumo energético de uma escola. Para realização desse trabalho, essa pesquisa utilizou a metodologia de Estudo de Caso, tendo por base a abordagem de Yin (2015). O trabalho se concentrou em uma unidade de análise, que é a Escola Estadual Padre Antão do Estado de São Paulo. Além disso, os princípios para a coleta de dados para o estudo foram seguidos e a questão de pesquisa desse trabalho, que é do tipo “Como”, considerada como uma das mais apropriadas para esse tipo de estudo (Yin, 2015). Considerada, portanto, de caráter exploratória, já que pressupõe estudo aprofundado de um fenômeno social

A Figura 15 representa o fluxo da pesquisa, que se tem:

- a partir do levantamento dos dados por meio de visitas, documentação e entrevistas não estruturadas com o objetivo de conseguir informações técnicas e do uso da edificação para o cálculo energético;
- avaliação da eficiência energética do modelo que se aproxima da realidade pelo método de Simulação em que foi utilizado o *software* de simulação *EnergyPlus* e as informações obtidas na etapa anterior;
- construção dos modelos de referências, de nível A, B, C e D a partir do modelo que se aproxima da realidade e do método prescritivo, conforme Figura 15;
- determinação da etiqueta PROCEL-Edifica geral da edificação em estudo, por meio da equação PT do método da Simulação (Equação 2), em que se considera o consumo energético anual do modelo real e dos modelos de referência e possível ponto de

bonificação. Inclui também neste estudo o cálculo pelo método EqNumV, já que há ambientes de permanência prolongada com ventilação natural, o que pode interferir na classificação;

- identificação de oportunidades de melhorias com apoio da literatura, do método prescritivo e do perfil calculado com os objetivos de reduzir o consumo energético e conforto térmico dos ambientes;
- análise econômica dessas melhorias em relação ao benefício obtido;
- análise das dificuldades e facilidades para atender ao PROCEL-Edifica por meio do método da Simulação, com o objetivo de auxiliar futuros estudos.



**Figura 15: Fluxo do Processo de Pesquisa.** Fonte: autora

### 3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS

De acordo com (Yin, 2015), em um Estudo de Caso as principais fontes de informação podem ser classificadas em seis categorias. Essas categorias foram utilizadas neste estudo conforme a Figura 16.

<b>Categorias</b>	<b>Fontes de Informação</b>	<b>Objetivo</b>
Documentos	Planta do prédio	Conhecer as características técnicas do edifício
Registros	Contas de consumo de energia	Conhecer o perfil de consumo
Entrevistas não estruturadas	Com funcionários da escola, técnicos da manutenção e profissionais da área de construção	Saber como o prédio é operado; informações técnicas; identificar potenciais melhorias
Observação direta	Tomadas de medidas do edifício	Completar informações técnicas não disponíveis no desenho; identificar potenciais melhorias
Observação participante	Não se aplica	-
Aparatos Físicos	Equipamentos para medição	Informações técnicas

**Figura16: Fontes de Informação da pesquisa. Fonte:** Adaptada de Yin (2015)

#### 3.2.1 HISTÓRICO DAS VISITAS PARA COLETA DE DADOS

As visitas ao local da pesquisa são listadas na Figura 17 bem como atividades e as informações obtidas no decorrer dessas visitas.

Data	Local	Temas	Informações
05/set	Escola Estadual Padre Antão	Levantamento de iluminação	Dados sobre a quantidade de lâmpada, tipo e potência.
06/fev	Escola Estadual Padre Antão	Verificação das plantas fornecidas	Checagem das plantas fornecidas em relação as medidas dos ambientes, janelas e portas.
09/abr	Escola Estadual Padre Antão	Verificação do uso dos ambientes	Checagem em relação ao uso dos ambientes.
20/ago	Escola Estadual Padre Antão	Levantamento de equipamento elétricos	Dados sobre a quantidade de equipamentos, tipo e potência.

**Figura17: Visitas realizadas para a pesquisa. Fonte:** autora.

Os dados primários foram coletados por entrevistas não estruturadas, feitas ao diretor, zeladora e cuidadora da escola, nas visitas realizadas, como parte da observação direta.

As perguntas guias das entrevistas foram:

- a) Qual o ano da construção da escola?
- b) Qual o horário de funcionamento de cada ambiente da escola?
- c) Qual a média de pessoas em cada ambiente da escola?
- d) Qual atividade exercida em cada ambiente da escola?
- e) Como é o conforto térmico nos ambientes?
- f) Como é o controle de ligar e desligar iluminação e equipamentos?

Além disso, nas visitas foram efetuadas medições de parâmetros e verificações necessárias para a realização das simulações energéticas como, verificação de materiais componentes da edificação e equipamentos utilizados. Outras informações foram extraídas de

documentos fornecidos pela Secretaria da Educação de São Paulo, como plantas e consumo mensal de energia elétrica da escola.

Os dados secundários foram obtidos por meio da revisão da bibliografia relacionada aos temas. Adicionalmente foram feitos contatos com o professor Alberto Hernandez Neto, especialista na matéria, sobre *softwares* utilizados no método de simulação e também foram sanadas dúvidas no fórum disponível no site do PBE Edifica sobre o uso do método PROCEL-Edifica / PBE-Edifica (<http://www.pbeedifica.com.br/forum/>).

### 3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados foi realizada conforme as etapas do fluxograma da Figura 18:

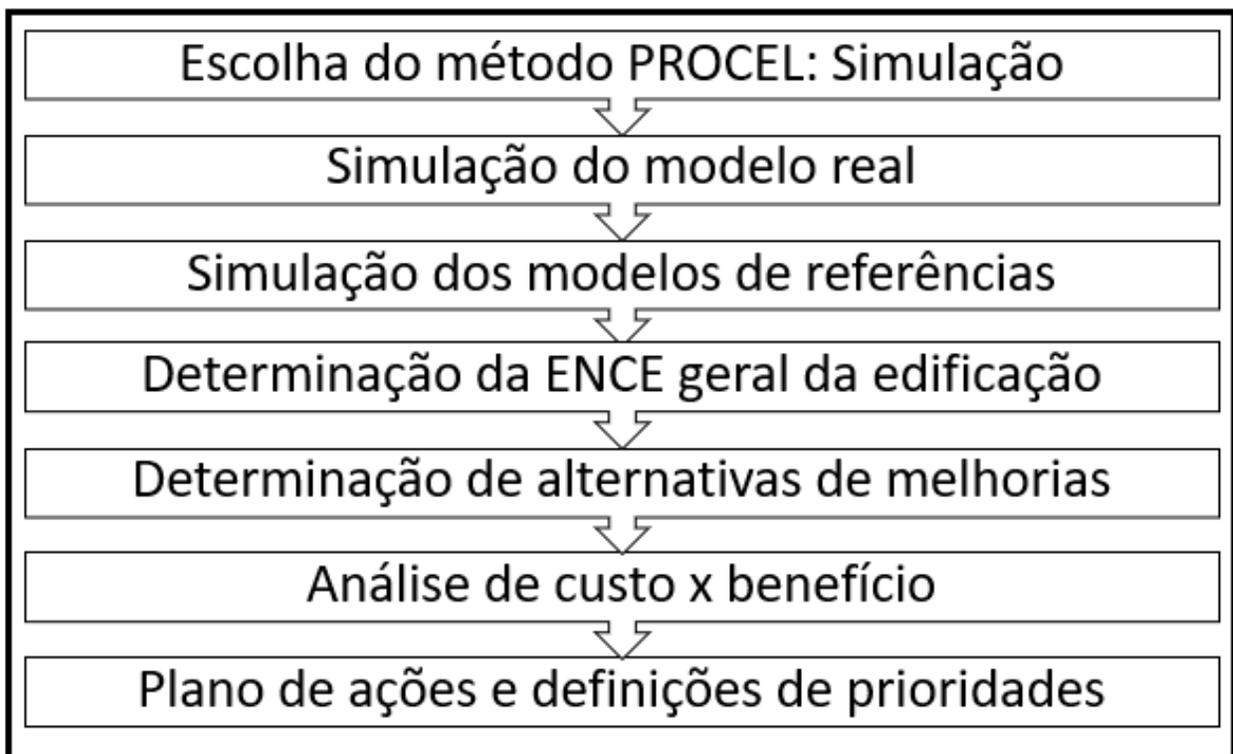


Figura 18: Fluxo de Análise dos Dados. Fonte: autora.

Na escolha do tipo de etiqueta avaliada, tem-se a possibilidade de aplicar em edifícios construídos, parcialmente construídos e em edificações a serem construídas. Este estudo foi realizado em uma edificação construída.

A etiquetagem da eficiência energética de edifícios pode ser realizada pelo método prescritivo ou pelo método da simulação. O método prescritivo é um método simplificado que avalia as edificações por meio de equações e tabelas (PROCEL Edifica, 2016).

O método de simulação é uma maneira mais completa e/ou flexível de se avaliar a eficiência energética e que também faz uso do método prescritivo (PROCEL Edifica, 2016). É indicado por permitir: a liberdade de projeto, a incorporação de inovações tecnológicas, o uso de estratégias passivas, a incorporação de soluções não previstas no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), ou seja, abrange todas as soluções arquitetônicas ou dos sistemas que porventura existam no projeto e que não são possíveis de serem analisados por meio do método prescritivo (PROCEL Edifica, 2016). Nesse estudo foi realizado o método de Simulação, por se tratar de um método de análise mais completo.

O processo de avaliação da edificação por meio da simulação utiliza: um modelo real, que é a simulação da edificação avaliada, como todas as características; e quatro modelos de referência, similar ao modelo real, mas que leva em consideração as características dos níveis de eficiência A, B, C e D. O método prescritivo é utilizado para determinar alguns parâmetros dos modelos de referência (PROCEL Edifica, 2016).

Para a realização desse método é necessária a escolha de um *software*, o manual RTQ-C não exige um *software* específico, mas especifica pré-requisitos que devem ser atendidos (PROCEL Edifica, 2016).

O *software* utilizado para a geração das equações e planilha do método prescritivo do PROCEL-Edifica foi o *EnergyPlus*, disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (EUA) (DOE, 2018), esse é um *software* que não precisa ser licenciado (pago). No entanto, o *EnergyPlus* não possui interface gráfica (GUI) amigável, mas permite trabalhar com outras ferramentas em conjunto, que possuem esta característica, funcionando como “plug-in” (S. Wang, Yan, & Xiao, 2012).

Neste trabalho, foi utilizado o *EnergyPlus* versão 8.8.0, a escolha desse programa como ferramenta é justificada pelos recursos por ele oferecidos, pela disponibilidade do mesmo, e por atender o objetivo desse trabalho. Outras duas ferramentas também foram utilizadas para a interface gráfica: o *SketchUp Make* 2018, versão gratuita para estudantes, um *software* que possui interface gráfica, disponibilizado pelo Trimble Inc. (Trimble Inc., 2018), e o *OpenStudio* versão

2.4.0, disponibilizado pelo National Renewable Energy Laboratory para Department of Energy dos EUA (NREL, 2018), que é o plugin disponível para o *SketchUp*. O plugin foi desenvolvido com a finalidade de permitir usar as ferramentas padrão do *SketchUp* para criar e editar superfícies que possam ser simuladas pelo *EnergyPlus*, além da possibilidade do lançamento da maior parte dos dados da edificação, que são necessários para simulação.

A Figura 19 representa o template do *OpenStudio*, etapa que se inicia depois da modelagem da edificação da separação dos ambientes por zonas térmicas e da definição do tipo de edificação e a definição da zona bioclimática de acordo com a localização do projeto e da norma internacional a ser seguida. Considera-se zona térmica o ambiente ou conjunto de ambientes dentro de um edifício em que sejam considerados similares, de tal maneira que as condições desejadas de temperatura possam ser controladas usando um único sensor (PROCEL Edifica, 2016). A norma internacional que foi utilizada é a *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 90.1* (ASHRAE 90.1), referência em diversas definições e parâmetros no manual RTQ-C.

Em um segundo momento da simulação, estabeleceu-se o arquivo climático e a zona bioclimática de acordo com a localização do projeto e da norma ASHARE 90.1, já que o desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado às condicionantes externas do tempo, como temperatura do ar, umidade e radiação (Lamberts, Ghisi, Abreu, & Carlo, 2005).

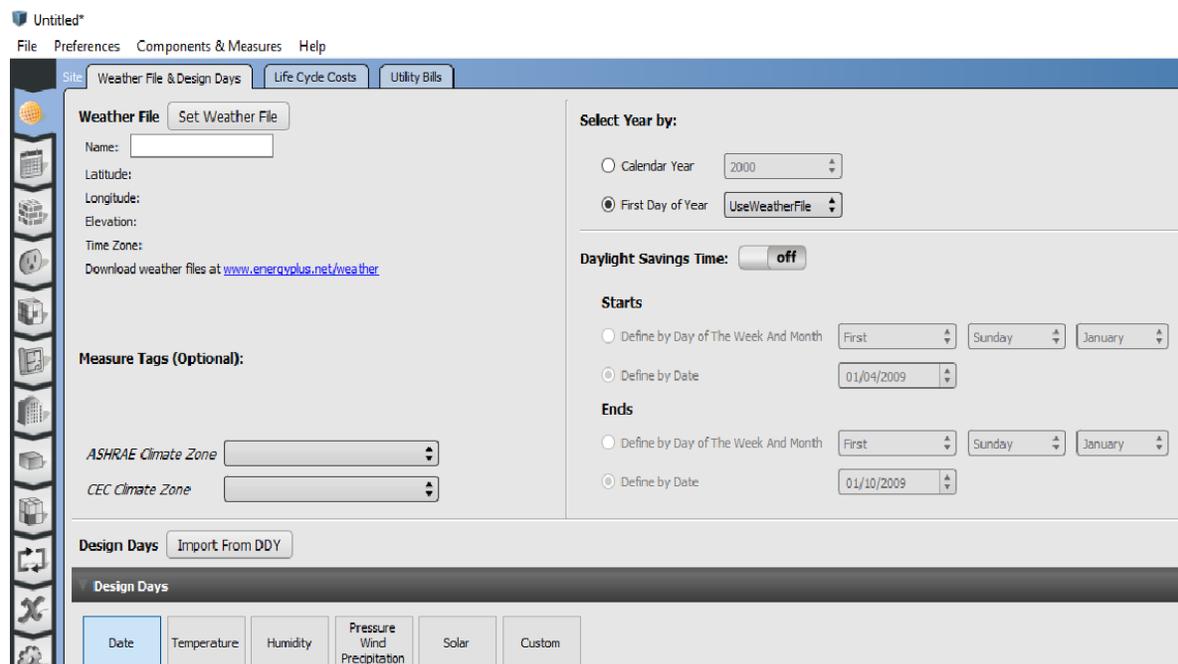


Figura 19: Template do *Open Studio*. Fonte: autora.

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) elaborou arquivo climático para 14 cidades brasileiras, entre elas, São Paulo (Carlo & Lamberts, 2005). Esses arquivos climáticos atendem às características exigidas pelo manual RTQ-C:

fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar; os dados climáticos representam a Zona Bioclimática onde o projeto proposto está locado e, caso o local do projeto não possuir arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes; o arquivo climático atende ao formatos publicados no [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov) (TRY, TMY, SWEC, CTZ2...) (PROCEL Edifica, 2016 p.177).

Nesse estudo utilizou-se o arquivo climático de Congonhas-SP. Feito isso, lançou-se dados da edificação, como: ocupação dos ambientes, materiais construtivos, orientação solar, quantidade de pessoas por ambiente, W/m<sup>2</sup> (watts por metro quadrado) de cada ambiente, entre outras informações. E por último, a ventilação natural, etapa que foi realizada diretamente no *EnergyPlus*, já que no *OpenStudio* ainda não é possível.

Para a classificação da eficiência energética deste modelo real foi necessário a realização dos modelos de referência. Se o selo encontrado para a edificação for o “B”, ou “C”, ou “D”, ou “E”, as determinações de melhorias devem ser apontadas para que haja uma evolução de nível, se o edifício for “C”, por exemplo, pode passar a ser “B” ou até mesmo “A”. Caso o nível do edifício seja “A” e não sendo possível um “gap” de nível é sempre possível apontar melhorias. Além disso, realizou-se estimativa do custo benefício das alternativas de algumas melhorias sugeridas.

Ao fazer uma análise dos dados selecionados para esse estudo, percebeu-se o uso da abordagem da triangulação por complementação como estratégia para cumprir os objetivos traçados. Nessa estratégia, os resultados levam em consideração diferentes aspectos da questão de pesquisa, e, por serem complementares, permitem uma visão mais ampla da realidade investigada (Flick, 1992). Utilizou-se dessa estratégia em um primeiro momento para obter os resultados de consumo energético do modelo real por meio dos dados obtidos nas visitas e nos documentos, que foram lançados no simulador. Em seguida na comparação dos modelos, que permitiu a classificação do perfil energético da escola de acordo com o PROCEL – Edifica; por último, na

utilização dos dados do perfil energético calculado da escola e da literatura para apontar melhorias na edificação.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são explicadas as características do objeto de estudo, o porquê da escolha do edifício, localização, orientação geográfica e dados gerais.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Ao contatar a Secretaria de Educação, três escolas foram oferecidas. Dentre as três escolas disponibilizadas, a Escola Estadual Padre Antão foi a selecionada para este projeto. A escolha se justifica por:

- a) uma das escolas disponibilizadas já faz parte de outro projeto em estudo;
- b) apresentar mais fácil acesso em relação as outras opções;
- c) ser um caso típico e possivelmente exemplar para potenciais melhorias já que a edificação é de 1956 e não passou por reformas recentemente ou por algum processo de etiquetagem.
- d) ter usos típicos como salas de aula, ambientes de uso comum dos funcionários, ambientes de uso comum dos alunos, laboratórios, auditório, cantina, refeitório e cozinha.
- e) ser uma escola de porte “médio”.
- f) não ser um prédio alugado, ou seja, é propriedade do Estado, o que foi considerado mais adequado.
- g) a ideia desse projeto ser muito bem aceita pela direção da escola e que contribuiu para o acesso as informações necessárias e visitas ao local.

Localizado na cidade de São Paulo, é um edifício público de três andares, com 2.143,01m<sup>2</sup> de área total construída, onde trabalham 67 professores. Dos ambientes construídos as salas de aulas representam a maior parte da edificação, com um total de 16, onde cada uma recebe em média 40 alunos por período de funcionamento. Estes dados foram levantados por meio de documentos da Escola Estadual Padre Antão.

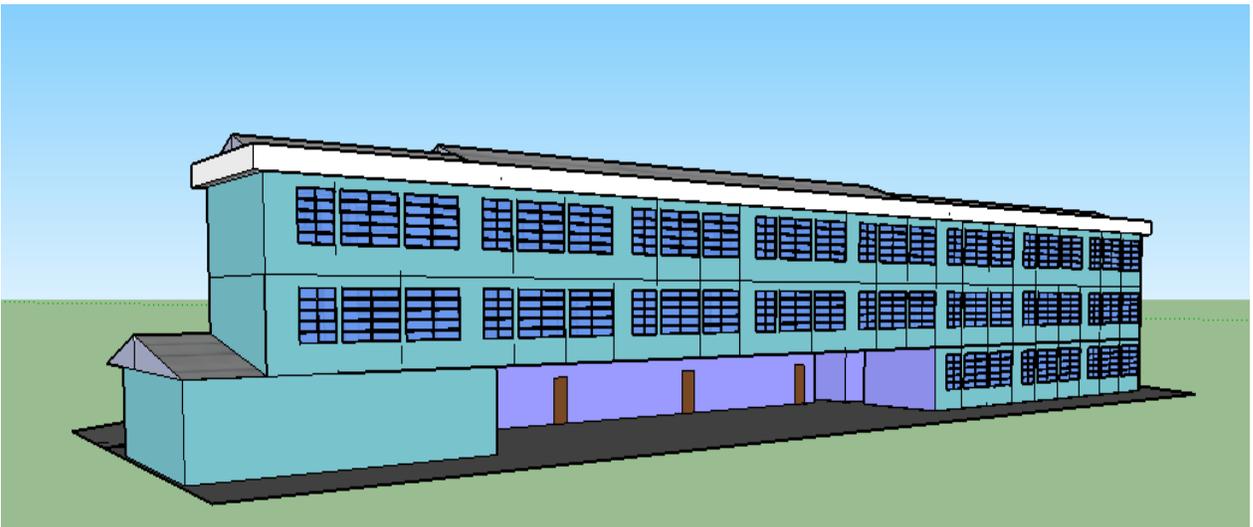
#### 4.1.1 Detalhes arquitetônicos do edifício

A Figura 20 mostra uma perspectiva do edifício em estudo, este é um desenho sem escala. Nessa perspectiva observa-se que o nível inferior está parcialmente enterrado.



**Figura 20:** Desenho do edifício, sem escala. Fonte: autora.

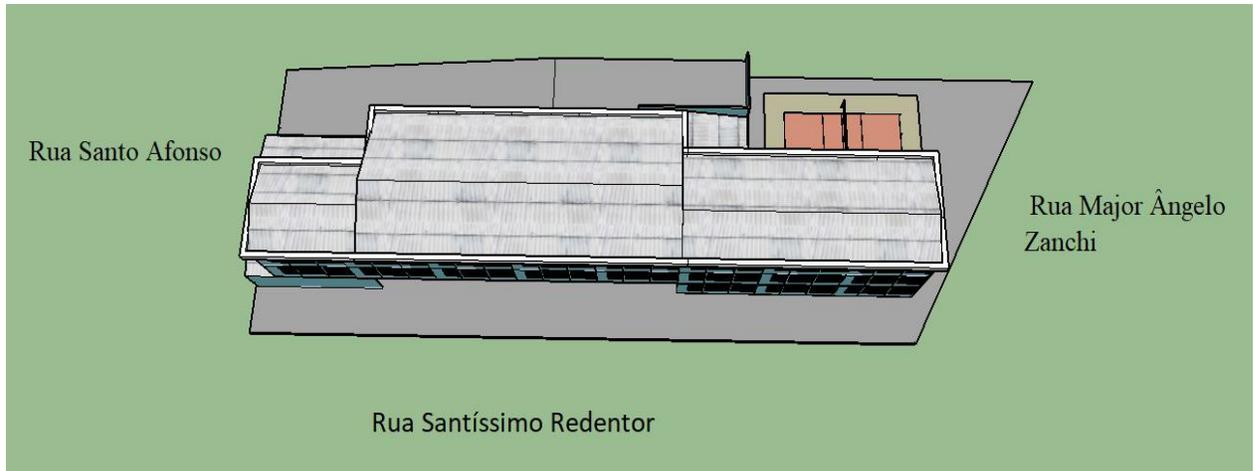
A Figura 21 mostra uma perspectiva do edifício em estudo sob outro ângulo, esse é um desenho sem escala. Nessa perspectiva já é possível observar por inteiro os três níveis: inferior, térreo e superior.



**Figura 21:** Desenho do edifício, sem escala. Fonte: autora.

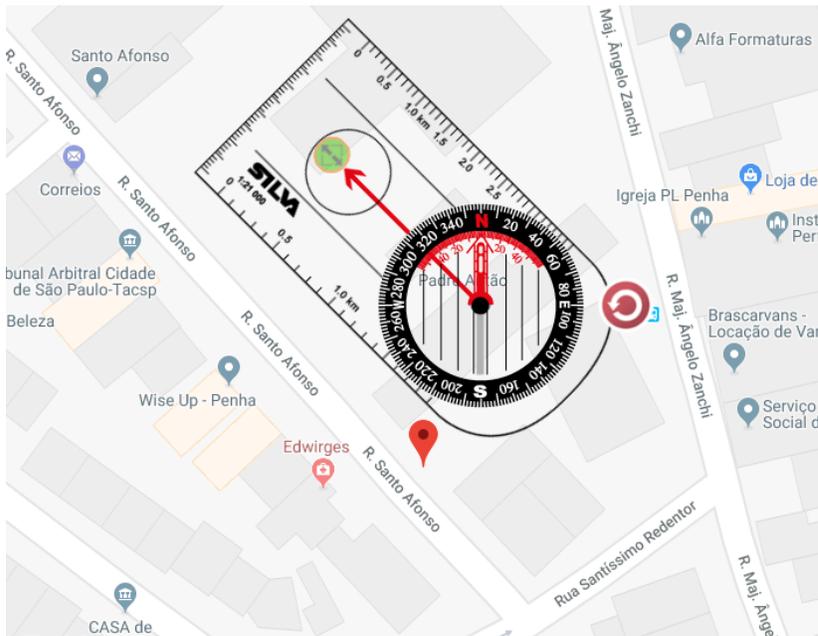
#### 4.1.1 Localização e posicionamento geográfico do edifício

O edifício em estudo é localizado na cidade de São Paulo, no bairro Penha de Franca e possui a sua fachada principal voltada para a rua Santo Afonso conforme Figura 22.



**Figura 22:** Desenho esquemático sem escala do prédio visto por cima com as ruas circundantes. Fonte: autora.

A Figura 23 ilustra a orientação solar do edifício.



**Figura 23:** Posicionamento do prédio. Fonte: autora com o auxílio do Google Maps e ferramenta de *software*.

Conforme a Figura 23, a face em que não está direcionada a nenhuma rua próxima possui uma diferença de  $45^\circ$  em relação ao Norte, aferida por meio de bússola e de ferramentas de *software* Google Maps e Google Compass. Pelos critérios do PROCEL-Edifica é permitida uma inclinação de até  $45^\circ$  em relação ao ponto cardinal. Deste modo, esta é a face Norte. As outras faces, pelo mesmo raciocínio, são Sul: R. Santíssimo Redentor, Leste: R. Major Ângelo Zanchi e Oeste: R. Santo Afonso.

## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo é apresentado os dados e documentos levantados, a aplicação do método ao caso estudado e os resultados obtidos.

### 5.1 LEVANTAMENTO DE DOCUMENTOS PRIMÁRIOS

Por meio de contatos por e-mail com a Secretaria da Educação de São Paulo foi solicitada e recebida a planta simplificada e atualiza dos três andares do prédio em formato PDF, que consta no Anexo C. Foi recebido também os dados de consumo das contas de energia elétrica do período de um ano, conforme mostrado na Figura 24. Estes documentos foram os utilizados nos processos de avaliação do prédio.

Mês	Consumo em Kwh
Janeiro	11.214,5
Fevereiro	11.371,4
Março	15.976,1
Abril	15.814,3
Maio	14.396,0
Junho	15.412,0
Julho	11.070,4
Agosto	13.415,5
Setembro	13.883,4
Outubro	14.788,6
Novembro	13.905,3
Dezembro	11.070,4
<b>Consumo total</b>	<b>162.317,8</b>

**Figura 24: Consumo mensal de energia em kWh da Escola Estadual Padre Antão do ano de 2017. Fonte: Secretaria da Educação de São Paulo.**

Outros dados como, da iluminação, na qual buscou-se saber a quantidade, tipo e potência das lâmpadas, conforme mostrado no Apêndice A, foram obtidos por meio das visitas e entrevista

ao responsável técnico da manutenção da escola, bem como os dados dos equipamentos elétricos da edificação, conforme mostrado no Apêndice B.

## 5.2 SIMULAÇÃO DO PROCEL-EDIFICA APLICADO AO EDIFÍCIO DO ESTUDO DE CASO

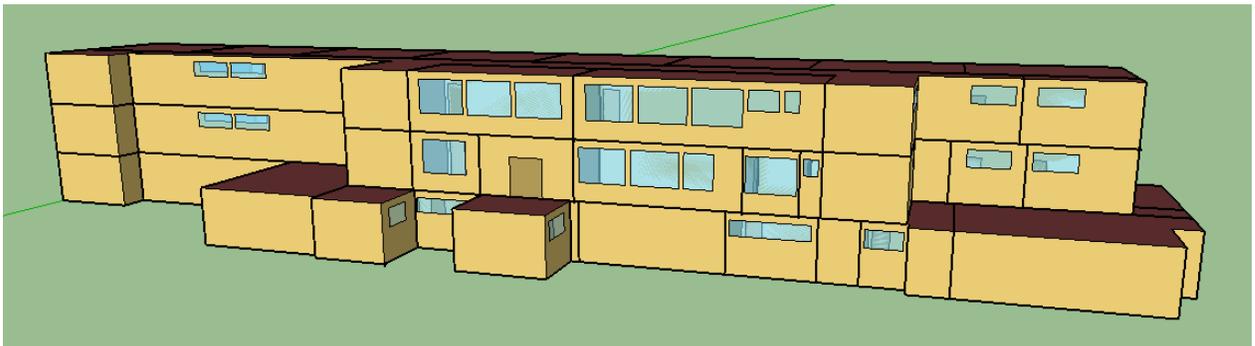
Conforme já citado, o método simulação do PROCEL trabalha com programa computacional de simulação em que é possível a etiquetagem geral da edificação (Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar).

### 5.2.1 SIMULAÇÃO DO MODELO REAL

A seguir são apresentadas todas as características da edificação avaliada que foram utilizadas para o cálculo de consumo do modelo real por meio do simulador.

#### 5.2.1.1 Geometria e orientação da edificação

A Figura 29 representa a modelagem (definição dos espaços) do edifício real feita por meio do *SketchUp* e *OpenStudio*, o que permite a importação desses dados para o *EnergyPlus* para o cálculo da simulação.



**Figura 29: Modelagem da edificação real. Fonte:** autora.

As propriedades físicas dos materiais e dos componentes construtivos da edificação (Figura 30) foram baseadas na ABNT NBR 15220 e em estudo realizado por Ordenes, Pedrini,

Ghisi e Lamberts (2003), sendo estes os materiais equivalentes à composição da edificação, verificados em visita ao local.

Material	Componente	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (kJ/kgK)
Esguadrias	Porta de madeira	3	0,15	614	2,3
	Janela de Vidro	0,3	0,9	-	-
Paredes Internas e Externas	Reboco de Argamassa	2,5	1,15	2000	1
	Bloco de Tijolo Maciço	9,6	0,9	1764	0,92
Cobertura	Telha Fibro Cimento	0,7	0,95	1900	0,84
	Laje de Concreto	20	1,75	2200	1
Pisos entre andares	Piso Cerâmico	1	0,9	1600	0,92
	Argamassa de Assentamento	1,5	1,15	2000	1
	Laje de Concreto	20	1,75	2200	1

**Figura 30: Propriedade dos materiais.** Fonte: em visitas à Escola Estadual Padre Antão/SP; ABNT (2003); Ordenes et al. (2003)

#### 5.2.1.2 Densidade de Carga Interna (CDI)

“É aquela proporcionada pela ocupação dos ambientes ou edifício e pelo uso de equipamentos e da iluminação” (PROCEL Edifica, 2016, p.31). Os dados de iluminação e equipamentos foram preliminarmente levantados por meio de observação direta em visita à escola (Apêndice A e B).

Na listagem dos equipamentos da escola (Apêndice B) não estão inclusos os computadores da sala de informática, isso porque não há professor contratado para a disciplina referente ao uso desses equipamentos há mais de dois anos. No entanto, foi necessário considerar o funcionamento desse ambiente, em relação à iluminação, igualmente às outras salas de aulas, conforme Figura 31, isso porque as chaves dos circuitos de energia, que funcionam como interruptores das salas de aula, não funcionam de maneira individual, sendo um circuito para duas salas. Desta maneira, mesmo que determinada sala de aula esteja desocupada, por virtude de outra atividade dos alunos ou mesmo por não haver funcionamento, possivelmente haverá consumo de energia em relação à iluminação.

### 5.2.1.3 Padrão de uso: Equipamentos e pessoas

O padrão de uso está relacionado com “Horas e taxas de ocupação e operação do edifício. Horas de ocupação interna, horas em que um sistema de condicionamento de ar está ligado ou horas em que um edifício é utilizado” (PROCEL Edifica, 2016, p.47). A quantidade de pessoas e horário de funcionamento de cada ambiente, durante o período de um ano, foram preliminarmente levantados por meio de entrevista não estruturada com uma funcionária cuidadora da escola. De maneira geral, essas ocupações se dividem em 5 tipos, conforme Figura 31.

Na Ocupação 1 estão os ambientes que funcionam nos horários de aula, dos turnos matutino, vespertino e noturno; na Ocupação 2 estão os ambientes que funcionam como depósitos, sendo esses muito pouco utilizados; na Ocupação 3 estão os ambientes que funcionam sem intervalos em dia de funcionamento, como ambientes de circulação e banheiros; na Ocupação 4, também estão ambientes que funcionam sem intervalos em dia de funcionamento, no entanto, com intervalos de dias menores em relação aos recessos, por se tratar de ambientes do setor administrativo, como secretária e coordenação; na Ocupação 5 estão os ambientes da cozinha, despensa da cozinha e cantina. Esses são horários de funcionamento que representam de maneira geral a ocupação dos ambientes da escola.

Ocupação 1			
Ambientes	Período do ano	Intervalo do período do ano	Horário de funcionamento
Salas de aula (15); Sala de informática; Laboratório; Biblioteca; Sala de vídeo; Auditório.	01 de janeiro a 15 de fevereiro	Férias	Não há funcionamento
	16 de fevereiro a 15 de julho	De segunda a sexta	7:00 às 12:20 matutino; 13:00 às 17:20 vespertino; 19 às 22:50 noturno
	16 de fevereiro a 15 de julho	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	15 de julho a 31 de julho	Férias	Não há funcionamento
	01 de agosto a 20 de dezembro	De segunda a sexta	7:00 às 12:20 matutino; 13:00 às 17:20 vespertino; 19 às 22:50 noturno
	01 de agosto a 20 de dezembro	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	21 de dezembro a 31 de dezembro	Férias	Não há funcionamento
Ocupação 2			
Depósitos (5)	Muito pouco utilizados durante todo o ano		
Ocupação 3			
Sala de professores; Banheiros (6); Circulação(3); Entrada	01 de janeiro a 15 de fevereiro	Férias	Não há funcionamento
	16 de fevereiro a 15 de julho	De segunda a sexta	7:00 às 22:50
	16 de fevereiro a 15 de julho	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	16 de julho a 31 de julho	Férias	Não há funcionamento
	01 de agosto a 20 de dezembro	De segunda a sexta	7:00 às 22:50
	01 de agosto a 20 de dezembro	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	21 de dezembro a 31 de dezembro	Férias	Não há funcionamento
Ocupação 4			
Sala Diretor e Vice Diretor; Secretaria (2); Coordenação	01 de janeiro a 07 de janeiro	Recesso	Não há funcionamento
	08 de janeiro a 15 de julho	De segunda a sexta	7:00 às 22:50
	08 de janeiro a 15 de julho	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	01 de agosto a 20 de dezembro	De segunda a sexta	7:00 às 22:50
	01 de agosto a 20 de dezembro	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	21 de dezembro a 31 de dezembro	Recesso	Não há funcionamento
Ocupação 5			
Cozinha; Despensa cozinha; Cantina	01 de janeiro a 15 de fevereiro	Férias	Não há funcionamento
	16 de fevereiro a 15 de julho	De segunda a sexta	7:00 às 19:00
	16 de fevereiro a 15 de julho	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	16 de julho a 31 de julho	Férias	Não há funcionamento
	01 de agosto a 20 de dezembro	De segunda a sexta	7:00 às 19:00
	01 de agosto a 20 de dezembro	Sábados e Domingos	Não há funcionamento
	21 de dezembro a 31 de dezembro	Férias	Não há funcionamento

**Figura 31: Ocupação dos ambientes.** Fonte: autora com base em informações levantados por meio de entrevistas não estruturada a uma funcionária cuidadora da escola.

#### 5.2.1.4 Consumo energético total da edificação

O resultado do consumo energético total da edificação para o período de um ano, calculado pelo *EnergyPlus*, é de 173.633,33 kWh. Se comparado com os dados do consumo de energia total da edificação do ano de 2017, fornecidos pela Secretaria da Educação, observa-se que o resultado obtido pela simulação é aproximadamente superior em 7% na demanda de energia. Portanto, com base no critério de aceitação mensal ou período total pelo método CV RMSE, apresentado no tópico 2.5.1, este modelo está calibrado.

### 5.2.2 SIMULAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA

A seguir são apresentadas todas as características e cálculos considerados em cada nível da classificação do RTQ-C para a avaliação do consumo dos modelos de referência de acordo com a Figura 8.

#### 5.2.2.1 Sistema de condicionamento de ar

Para atender ao critério estabelecido pelo PROCEL Edifica (2016) neste aspecto é necessário considerar o Coeficiente de Performance (COP) mínimo do nível desejado. Define-se COP como as condições de resfriamento ou aquecimento da edificação (PROCEL Edifica, 2016). No entanto, como a edificação em estudo não apresenta nenhum ambiente com sistema de condicionamento de ar não se faz necessário essa avaliação. Considerou-se, portanto, o mesmo arquivo de ventilação natural do modelo real nos modelos de referência para efeito de classificação.

#### 5.2.2.2 Cálculos dos limites de transmitância térmica de paredes externas

“Transmitância térmica é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das coberturas e paredes, incluindo as resistências superficiais interna e externa” (PROCEL Edifica, 2016, p.54). O isolamento térmico de um elemento da envoltória é dado por este coeficiente de transmissão térmica “U” (transmitância). Quanto maior for a transmitância, menos capacidade de isolamento do sistema. Ou seja, reduzir a transmitância, aumentando espessura do isolamento

térmico, reduz o consumo e aumenta a eficiência energética na fase de operação da construção (Ferreira, 2009).

A Figura 32 apresenta os valores limites de transmitância térmica de paredes externas que devem ser considerados no simulador para cada nível de classificação de acordo com a zona bioclimática do projeto. O zoneamento bioclimático considerado pelo RTQ-C é o da NBR 15.220 na parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro, no qual há uma listagem de 330 cidades brasileiras e suas respectivas Zonas Bioclimáticas, com um total de oito zonas, sendo a zona bioclimática da cidade de São Paulo de número 3 (ABNT, 2003).

Desta maneira, para todos os níveis de classificação (A, B, C e D) na zona bioclimática 3, o limite de transmitância térmica das paredes externas que deve ser considerado é 3,7 W/m<sup>2</sup>K, conforme Figura 32.

Zonas Bioclimáticas	U <sub>PAR</sub> (W/m <sup>2</sup> K) nível A	U <sub>PAR</sub> (W/m <sup>2</sup> K) nível B	U <sub>PAR</sub> (W/m <sup>2</sup> K) níveis C e D
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5 W/m <sup>2</sup> K, para C <sub>T</sub> < 80 kJ/m <sup>2</sup> K		
	3,7 W/m <sup>2</sup> K, para C <sub>T</sub> > 80 kJ/m <sup>2</sup> K		

**Figura 32: Limites de transmitância térmica de paredes externas para cada nível de classificação. Fonte: PROCEL Edifica (2016)**

Os cálculos da transmitância térmica foram feitos considerando a metodologia apresentada pela NBR 15.220 na parte 2: Desempenho térmico de edificações: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2003). De acordo com a NBR 15220-2 a transmitância térmica de componentes é o inverso da resistência térmica total (ABNT, 2003), conforme a Equação 6:

$$U_T = \frac{1}{R_T} \quad (6)$$

**Equação 6: Equação da transmitância térmica. Fonte: ABNT (2003).**

Onde:

- UT é a transmitância térmica de componentes, [W/m<sup>2</sup>K];
- RT é a resistência térmica total, [(m<sup>2</sup>.K)/W], sendo a resistência térmica (R) determinada pelo quociente entre a espessura do material (e) e a sua condutibilidade térmica (k) e a RT o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente.

O valor obtido de transmitância térmica das paredes externas do modelo Real, no qual considerou-se os dados dos materiais da edificação, foi de 6,66 W/ m<sup>2</sup>K, conforme Figura 33.

<b>Modelo Real</b>
Reboco de argamassa (espessura =0,025 m; Condutividade=1,15 W/m.K)
Tijolo Maciço (espessura = 0,096 m; Condutividade = 0,9 W/m.K)
Reboco de argamassa (espessura =0,025 m; Condutividade=1,15 W/m.K)
$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}} = \frac{1}{\frac{0,025}{1,15} + \frac{0,096}{0,9} + \frac{0,025}{1,15}} = 6,66 \text{ W/m}^2.K$

**Figura 33: Cálculos de transmitância térmica de paredes externas do modelo Real. Fonte: autora.**

Para obter o valor limite nos cálculos de transmitância térmica das paredes externas para os modelos de referência de todos os níveis (A, B, C e D) foi necessário trocar a espessura do tijolo maciço de 0,096 m para 0,207 m. Desta maneira, obteve-se 3,65 W/ m<sup>2</sup>K de transmitância térmica, atendendo ao valor limite de 3,7 W/ m<sup>2</sup>K de transmitância térmica, exigido pelo RTQ-C, conforme Figura 34.

<b>Nível A, B, C e D</b>
Reboco de argamassa (espessura =0,025 m; Condutividade=1,15 W/m.K)
Tijolo Maciço (espessura = 0,207 m; Condutividade = 0,9 W/m.K)
Reboco de argamassa (espessura =0,025 m; Condutividade=1,15 W/m.K)
$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}} = \frac{1}{\frac{0,025}{1,15} + \frac{0,207}{0,9} + \frac{0,025}{1,15}} = 3,65 \text{ W/m}^2.K$

**Figura 34: Cálculos de transmitância térmica de paredes externas do modelo de referência de Nível A, B, C e D. Fonte: autora.**

### 5.2.2.3 Cálculos dos limites de transmitância térmica de cobertura

A Figura 35 apresenta os valores limites de transmitância térmica de cobertura que devem ser considerados no simulador para cada nível de classificação de acordo com a zona bioclimática do projeto e com o condicionado dos ambientes.

Como todos os ambientes do prédio em estudo não são condicionados e a zona bioclimática de São Paulo, no Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220, é 3, o limite de transmitância térmica da cobertura para todos os níveis (A, B, C e D) é 2 W/m<sup>2</sup>K, conforme Figura 35.

Zonas Bioclimáticas	U <sub>COB</sub> (W/m <sup>2</sup> K) nível A		U <sub>COB</sub> (W/m <sup>2</sup> K) nível B		U <sub>COB</sub> (W/m <sup>2</sup> K) níveis C e D	
	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

**Figura 35: Limites de transmitância térmica de cobertura. Fonte:** PROCEL Edifica (2016).

O valor obtido de transmitância térmica de cobertura do modelo Real, no qual considerou-se os dados dos materiais da edificação, é de 8,22 W/ m<sup>2</sup>K, conforme Figura 36.

Modelo Real
Telha Fibro Cimento (espessura =0,007 m; Condutividade=0,95 W/m.K)
Laje de Concreto (espessura = 0,2 m; Condutividade = 1,75 W/m.K)
$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} = \frac{1}{\frac{0,007}{0,95} + \frac{0,2}{1,75}} = 8,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

**Figura 36: Cálculos de transmitância térmica de cobertura do modelo Real. Fonte:** autora.

Para obter o valor limite nos cálculos de transmitância térmica de cobertura para os modelos de referência de todos os níveis (A, B, C e D) foi necessário acrescentar, entre as telhas de fibro cimento e a laje de concreto, uma câmara de ar de resistência térmica de 0,61 m<sup>2</sup>K/W. Dessa maneira, obteve-se 1,37 W/ m<sup>2</sup>K de transmitância térmica, atendendo ao valor limite de 2,0 W/ m<sup>2</sup>K, conforme Figura 37.

Nível A, B, C e D	
Telha Fibro Cimento (espessura =0,007 m; Condutividade=0,95 W/m.K)	
Câmara de ar: 0,61 m <sup>2</sup> .K/W	
Laje de Concreto (espessura = 0,2 m; Condutividade = 1,75 W/m.K)	
$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} = \frac{1}{\frac{0,007}{0,95} + 0,61 + \frac{0,2}{1,75}} = 1,37 \text{ W/m}^2.K$	

**Figura 37:** Cálculos de transmitância térmica de cobertura do modelo de referência de Nível A, B, C e D  
**Fonte:** autora.

#### 5.2.2.4 Limites de absorvância à radiação solar de coberturas e paredes externas

A NBR 15220 na parte 1: Definições, símbolos e unidade define a absorvância à radiação solar como o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície” (ABNT, 2003, p.6).

A Figura 38 apresenta os valores limites de absorvância solar de coberturas e paredes externas para cada nível da classificação de acordo com a Zona Bioclimática. Dessa maneira, para o nível A a absorvância deve ser maior ou igual a 0,50 para a cobertura e paredes externas, para o nível B a absorvância da cobertura deve ser maior ou igual a 0,5 e para as paredes externas deve ser igual ao modelo Real, para os níveis C e D deve-se considerar a absorvância da cobertura e das paredes externas igual ao modelo Real. Esses valores foram considerados diretamente no programa *EnergyPlus*.

Zonas Bioclimáticas	absorvância nível A		absorvância nível B		absorvância níveis C e D	
	cobertura	Paredes externas	cobertura	Paredes externas	cobertura	Paredes externas
ZB 1	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real				
ZB 2 a 8	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,50	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real

**Figura 38:** Limites de absorvância solar de coberturas e paredes externas. **Fonte:** PROCEL Edifica (2016).

#### 5.2.2.5 Sistemas de iluminação

Para a simulação dos modelos de Referência em relação ao sistema de iluminação, o RTQ-C indica atender ao limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido, em que se define DPIL como a “razão entre o

somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente” “(PROCEL Edifica, 2016, p.31).

Assim, nos modelos de referência considerou-se em os todos os ambientes da edificação para o nível A a potência indicada é de 10,7 W/m<sup>2</sup>, para o nível B a potência indicada é de 12,3 W/m<sup>2</sup>, para o nível C a potência indicada é de 13,9W/m<sup>2</sup> e para o nível D a potência indicada é de 15,5W/m<sup>2</sup>. Conforme Figura 39.

Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m <sup>2</sup> (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m <sup>2</sup> (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m <sup>2</sup> (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m <sup>2</sup> (Nível D)
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5

**Figura 39: Densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área da edificação. Fonte: PROCEL Edifica (2016).**

#### 5.2.2.6 Consumo energético total de cada nível simulado

Na Figura 40 é mostrado os resultados do consumo energético total de cada nível simulado por meio do *EnergyPlus* seguindo os procedimentos de simulação da metodologia do PROCEL-Edifica.

Nível simulado	Consumo energético simulado (kwh)
Nível A	248.055,55
Nível B	281.322,22
Nível C	314.366,66
Nível D	347.413,88

**Figura 40: Consumo energético total de cada nível simulado. Fonte: autora por meio do *EnergyPlus***

### 5.3 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO: INTERPOLAÇÃO DOS CONSUMOS

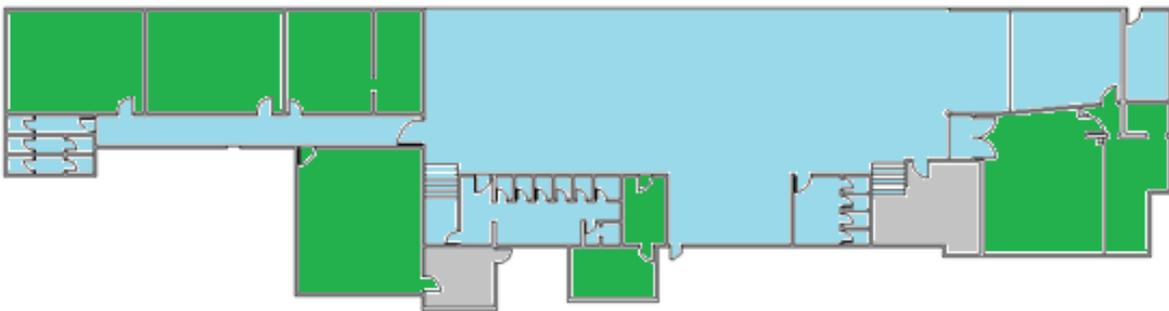
Feito isso, compara-se o desempenho da edificação real (173.633,33 kWh) com os edifícios de referência (Figura 40). Desta forma, pelos resultados obtidos pelas simulações, a edificação em estudo é classificada em nível A, já que apresenta consumo inferior a 248.055, 55 kWh.

O equivalente numérico da simulação (EqNumS) é 5, e a edificação não recebe ponto de bonificação. Portanto, a pontuação total (PT) da edificação é 5, conforme a Equação 2.

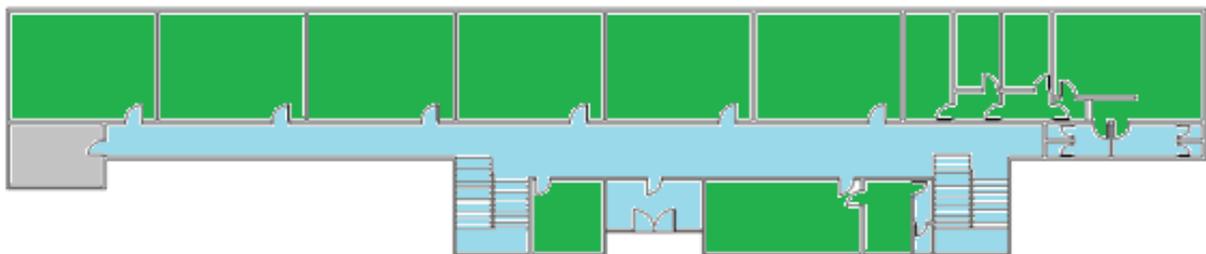
$PT = 5 + 0 = 5$ , logo, Nível A

#### 5.4 PERCENTUAL DE HORAS OCUPADAS EM CONFORTO – EQUIVALENTE NUMÉRICO DA VENTILAÇÃO

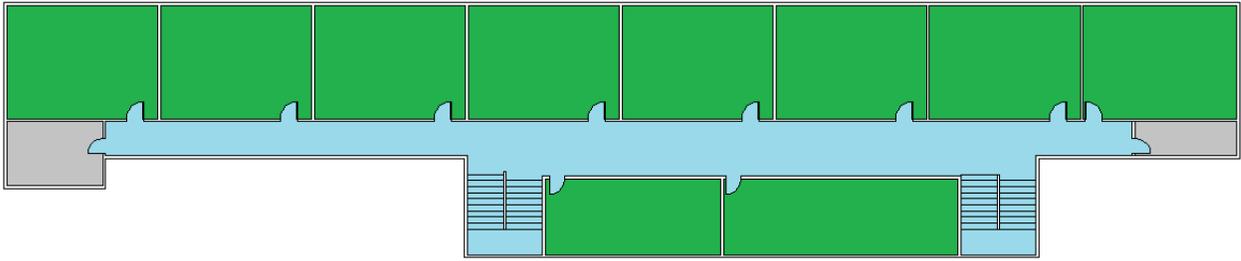
Como a edificação estudada apresenta todos os seus ambientes ventilados naturalmente é necessário comprovar por simulação o POC dos ambientes em que há permanência prolongada. Nas Figuras 41, 42 e 43 os ambientes foram “coloridos” de acordo com a permanência dos usuários no ambiente ou se são ambientes de circulação e escadas. Esta coleta de dados foi realizada em conjunto com o pessoal da Escola Padre Antônio.



**Figura 41: Desenho do pavimento inferior da edificação com áreas por categoria.** Fonte: autora, a partir da planta fornecida pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo.



**Figura 42: Desenho do pavimento térreo da edificação com áreas por categoria.** Fonte: autora, a partir da planta fornecida pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo.



**Figura 43: Desenho do pavimento Superior da edificação com áreas por categoria. Fonte:** autora, a partir da planta fornecida pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo.

- Verde: área não condicionada de permanência prolongada
- Azul: área não condicionada de circulação e de escadas
- Cinza: área não condicionada e de pouca permanência

Na Figura 44 os ambientes de permanência prolongada e não condicionados são listados, considerando a ordem dos pavimentos. Para cada ambiente calculou-se o POC a partir de dados fornecidos pelo *EnergyPlus* em que se definiu um intervalo de temperatura em torno da temperatura de conforto corresponde a 80% de aceitabilidade térmica. Em seguida, atribuiu-se o nível de eficiência e o equivalente numérico de acordo com a Figura 9. O passo seguinte foi calcular o coeficiente de ponderação de cada ambiente, razão entre a área do ambiente com a área total. Feito isso, calculou-se o EqNumV ponderado de cada ambiente e finalmente o EqNumV da edificação, que é 2,889, conforme Figura 44, o que corresponde a classificação de nível C, com EqNumV igual a 3, de acordo com a Tabela 2.

Ambiente	Porcentagem das horas ocupadas em conforto	Nível de Eficiência	Equivalente Numérico	Área (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de ponderação	EqNumV ponderado
Sala 1	60%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 2	60%	C	3	48	0,0392	0,118
Cantina	65%	C	3	48	0,0392	0,118
Laboratório	51%	C	3	56,5	0,0462	0,139
Cozinha	61%	C	3	16,6	0,0136	0,041
Despensa Cozinha	55%	C	3	10	0,0082	0,025
Auditório	59%	C	3	78	0,0638	0,191
Sala 3	57%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 4	57%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 5	57%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 6	56%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 7	56%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 8	54%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala Diretor e Vice Diretor	58%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala dos Professores	57%	C	3	49	0,0401	0,120
Secretaria 1	53%	C	3	35	0,0286	0,086
Secretaria 2	53%	C	3	11	0,0090	0,027
Coordenação	55%	C	3	16	0,0131	0,039
Sala 9	52%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 10	52%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 11	52%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 12	52%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 13	52%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 14	51%	C	3	48	0,0392	0,118
Sala 15	49%	D	2	48	0,0392	0,078
Sala 16	50%	C	3	48	0,0392	0,118
Biblioteca	42%	D	2	50	0,0409	0,082
Sala de Vídeo	49%	D	2	37,2	0,03041	0,061
Área Total dos ambientes de permanência prolongada				1223,3	EqNumV Final	2,889

**Figura 44: Determinação do EqNumV por meio dos cálculos do POC. Fonte:** autora a partir de dados fornecidos pelo *EnergyPlus*.

## 5.5 CLASSIFICAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO

Nos casos em que o EqNumV não for menor ou igual ao EqNumS a classificação final é dada pelo EqNumV (PROCEL Edifica, 2016). Portanto, a classificação final da edificação é o resultado do EqNumV, que é Nível C.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 OPORTUNIDADES DE MELHORIAS

Aqui são listadas as possíveis melhorias relacionadas a Eficiência Energética no edifício, levantadas após avaliação pelo método do PROCEL-Edifica, e calculados os tempos de retorno do investimento (*payback*) para algumas sugestões.

#### 6.1.1 Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpada LED

Apesar da escola em estudo apresentar baixa densidade de potência de iluminação, se comparado com os critérios do PROCEL-Edifica, a troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED ainda assim é uma opção de melhoria de potencial eficiência energética e, de muito interessante do ponto de vista dos benefícios ambientais.

Tais benefícios ambientais estão diretamente relacionados com a maior durabilidade das lâmpadas LEDs, pois demandam menos trocas o que, conseqüentemente, gera menos descartes no meio ambiente (Santos, Batista, Pozza, & Rossi, 2015). Para se ter ideia a vida útil de um LED pode chegar a 100.000 horas, enquanto que as lâmpadas fluorescentes apresentam vida útil média de 8.000 horas (Yeh & Chung, 2009). Outro fator a se considerar é que a lâmpada fluorescente contém mercúrio, o que exige maiores cuidados quanto ao descarte, devido às características nocivas deste elemento. Já as lâmpadas LEDs são produzidas com materiais atóxicos ao meio ambiente, o que faz com que possa ser descartado sem a necessidade de uma destinação e disposição final especial (Santos *et al.*, 2015).

Adicionalmente, os LEDs apresentam elevada eficiência na conversão de luz (Steele, 2007). Essa eficiência é indicada pela eficácia de uma lâmpada, sendo a eficácia a medida de quantos lúmens são distribuídos para uma determinada potência elétrica (Watt), ou seja, lúmens por Watts (Lm/W). A eficácia da lâmpada indica a eficiência da lâmpada apenas (Aman et al., 2013).

A lâmpada Fluorescente Tubular T8 de 32 W, instalada na escola, apresenta eficácia média de 74 Lm/W (<https://www.artesana.com.br/produto/lampada-fluorescente-32w-66005>). Já uma lâmpada LED Tubular T8 de 18 W, apresenta eficácia de 102,77 Lm/W (<https://www.ledplanet.com.br/produto/lampada-led-tubular-t8/led-tubular-t8-18w-120cm/>), uma eficiência superior em quase 39%. Normalmente, esse fator compensa o maior custo de instalação de LEDs em relação às lâmpadas fluorescentes (Yeh & Chung, 2009). Na troca desse material deve se atentar ao objetivo de reduzir a densidade de potência de iluminação atendendo aos níveis de iluminância.

Outra motivação adicional para considerar essa opção de melhoria é a tendência da exigência da escolha por lâmpadas LEDs nas políticas de eficiência energética. No FDE, por exemplo, já estão em definição políticas e estratégias de atendimento em relação à troca desse material nos projetos de *retrofit* e a exigência para os novos projetos de escolas.

Foi feito um estudo a partir de um orçamento e de uma análise simples de retorno de investimento. Uma lâmpada LED Tubular T8 de 18 W, com luminária compatível com as usadas na escola é em média no valor de R\$ 17,60 (<https://www.ledplanet.com.br/produto/lampada-led-tubular-t8/led-tubular-t8-18w-120cm/>).

Supondo uma redução teórica no consumo (KWh) de 39% e que o valor do KWh para a escola seja de R\$ 0,484 (<http://www.webarcondicionado.com.br/tarifa-de-energia-eletrica-kwh-valores-e-ranking-cidades>), o tempo de retorno simples dessa troca usando a taxa Selic atual como referência (6,4%/ ano) é de 4,68 meses.

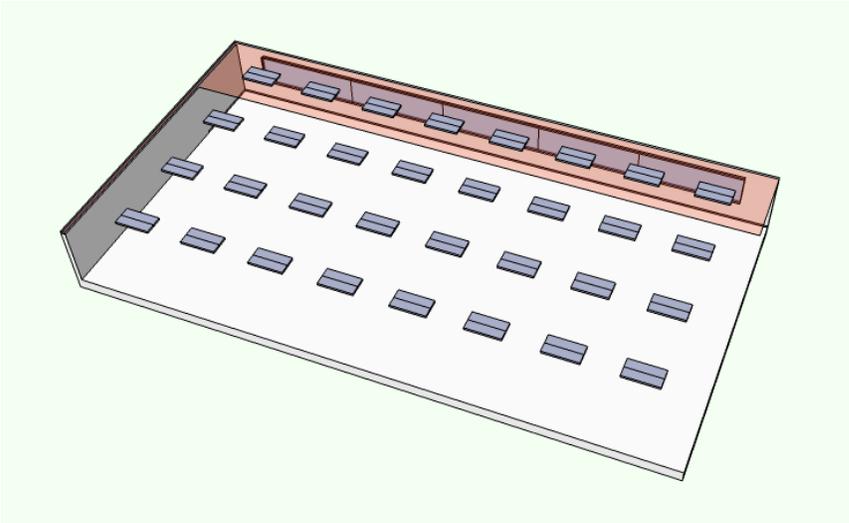
Embora sejam muitos os pontos positivos para a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LEDs, existem alguns pontos que devem ser discutidos. Sabe-se, por exemplo, que o LED requer uma corrente contínua estável e constante para assegurar uma operação segura. Nesse sentido, é necessário investir em equipamentos de segurança para impedir prejuízos na iluminação (Lopes, 2014). Além disso, considerando a escola em estudo a troca desse material também pode ocorrer aos poucos com o objetivo de respeitar o ciclo de vida das lâmpadas fluorescentes.

### 6.1.2 Modificação dos circuitos de iluminação - Divisão de circuitos

No caso em estudo deve haver uma alteração na divisão dos circuitos, todos os circuitos elétricos devem ser projetados separadamente. O funcionamento de um ambiente não deve depender de outro ambiente, o que contribui para a diminuição de riscos e gastos energéticos desnecessários (PROCEL Edifica, 2016). Nessa perspectiva, evita-se que todo o sistema de iluminação seja ligado por um único acionamento, clareando áreas onde não é necessário.

Além desta divisão independente de ambiente, deve ser analisada a divisão dos circuitos de iluminação de cada ambiente, com o objetivo de aproveitar ao máximo a luz natural. Essa divisão interna, pode possibilitar maior economia de energia procedente da integração da iluminação artificial e natural, pois estando os circuitos divididos, esses poderão ser ligados de maneira independente, observando se a iluminação natural é suficiente em determinada área (Barros, Silva, & Araújo, 2015). Pelo manual RTQ-C para que isso aconteça principalmente nas salas com janelas para o meio externo, deve-se pensar em circuitos próximas às janelas, para que esses permaneçam apagados o máximo de tempo possível enquanto houver luz natural (PROCEL Edifica, 2016), sendo essa a alternativa 1. Conforme Figura 45.

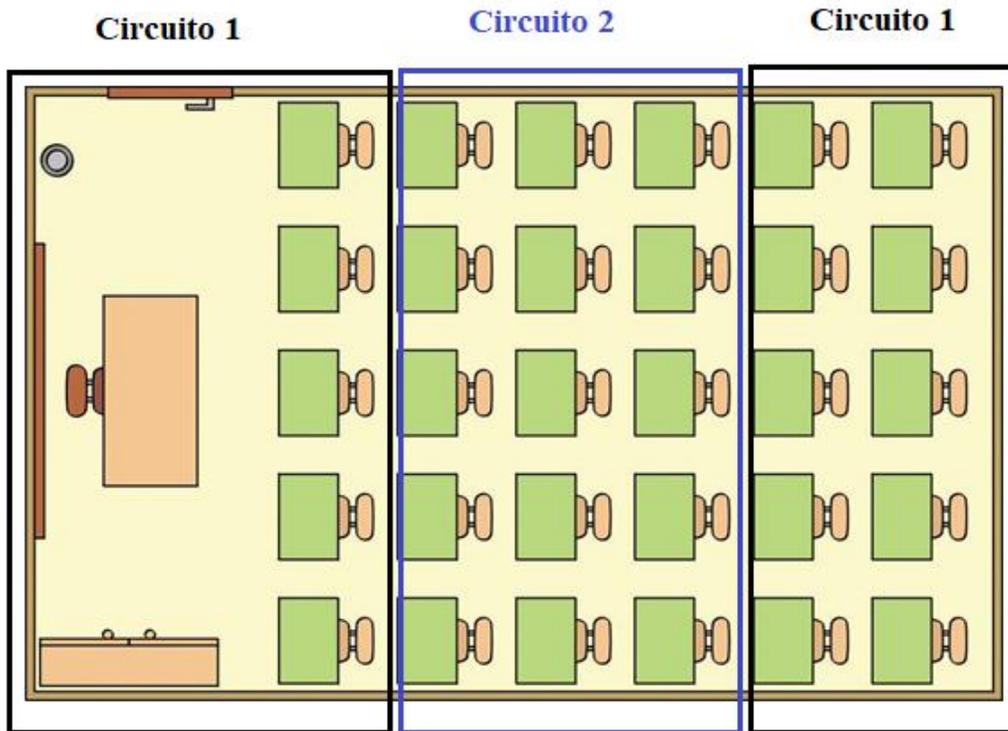
Segundo Roisin et al. (2008) é possível alcançar economia de energia significativa com o aproveitamento da luz natural e com o controle da iluminação artificial. Em estudo realizado por Moraes e Claro (2014) verificou-se que, projetos que utilizam das zonas de iluminação natural para propor a distribuição das luminárias e dos circuitos reduzem em até 20% a demanda de energia em relação ao projeto original.



**Figura 45: Circuito com controle de acionamento perto da janela. Fonte: PROCEL Edifica (2016).**

Além disso, a divisão de circuitos de iluminação possibilita que o usuário utilize a iluminação artificial de acordo com a necessidade da atividade realizada, evitando altos níveis de iluminação desnecessários (Barros, Silva & Araújo, 2015). Nesse estudo, considerando principalmente as salas de aulas, que representam a maior parte da edificação, essa divisão, com o objetivo de reduzir a necessidade do uso de iluminação artificial e para atender aos níveis de iluminância exigidos pela Norma 5413, principalmente na legibilidade das informações no quadro negro, pode ser pensada de outra maneira, mas considerando também o aproveitamento da luz natural. O circuito de cada sala de aula é dividido em dois, e paralelo ao quadro negro. No qual o primeiro e terceiro retângulo representam um circuito e o segundo retângulo representam o segundo circuito. Conforme Figura 46.

Com a aplicação desse artifício o uso de iluminação artificial poderia ser reduzido, pois em momentos que houvesse uma maior iluminação natural só seriam mantidas acesas as lâmpadas próximas ao quadro negro e do fundo da sala (representado por retângulos pretos na Figura 46) desde que a iluminação natural não atenda às necessidades de iluminação, permanecendo as lâmpadas restantes, do segundo circuito (representado por um retângulo azul) apagadas. Sendo essa a alternativa 2.



**Figura 46: Representação da divisão dos circuitos de iluminação nas salas de aula. Fonte:** autora.

A alternativa proposta para as salas de aula é a alternativa 2. Foram buscados artigos nas bases Scopus e *google* acadêmico usando as palavras “divisão de circuitos” “sala de aula” e não foram encontrados artigos que discutam essa alternativa. Para os demais ambientes, tais como os secretária e coordenação, a sugestão de luminárias com circuito próximo às janelas (alternativa 1) é considerada a melhor opção.

#### 6.1.2.1 Interruptores

Com essa divisão de circuito sugerida, outro ponto que deve ser pensando para um ganho de eficiência dos ambientes é o controle independente de acionamento do sistema de iluminação, visando à economia de energia, abordando a necessidade do uso da iluminação artificial suplementar à natural (Morales & Claro, 2014). Esse controle visa permitir que os usuários possam controlar o uso da iluminação de acordo com a necessidade. Na Escola Padre Antão, até o momento, com o objetivo de não ter problemas com acionamento ou desligamento indevido dos alunos, o acionamento é feito pelos inspetores, sem possibilidade de acionamento e controle de dentro da sala.

Para a minimização deste problema, a arquiteta entrevistada sugeriu que nas salas de aulas o controle de acionamento seja por parte do professor. Para isso, o interruptor responsável pelo acionamento do Circuito 1 de iluminação deve estar próximo ao quadro negro do lado direito, já que esse circuito é de maior necessidade neste ambiente. Enquanto, o outro interruptor deve estar posicionado próximo à porta. Para os demais ambientes, nos quais problemas de controle no acionamento no sistema de iluminação são menos recorrentes, os interruptores podem estar próximos à porta. No estudo de Moraes e Claro (2014), verificou-se, por meio de simulação, que em um sistema com uso adequado de iluminação e acionamento por zonas de iluminação pode-se obter uma economia de energia em média de 35%.

O orçamento estimativo para os serviços de aproveitamento da iluminação natural por meio de divisão de iluminação das salas de aulas e com controle independente de acionamento do sistema de iluminação é:

- Gerenciamento da mão de obra = R\$ 2500,00
- Mão de obra = R\$ 2600,00
- Materiais para o serviço = R\$ 3.480,00
- Total do serviço = R\$ 8.580,00

Para se encontrar o tempo de retorno do investimento, é assumida a suposição de que seriam mantidos o Circuito 2 das salas de aulas apagados durante 4 horas no período da tarde. A economia de consumo de energia calculada com a implantação dessa divisão de circuitos de iluminação seria de quase 12% nas salas de aulas.

O cálculo acima é uma simplificação na verificação da influência da iluminação natural em relação a outros estudos como Didoné, (2009) no qual considerou-se uma série de fatores além dos aqui usados, como comportamento do sol durante o ano, períodos nublados, etc. Porém, mesmo com as simplificações os valores encontrados nesse estudo estão alinhados com a faixa de valores encontrados nos estudos citados.

Utilizando-se o valor calculado R\$ 8.580,00 e assumindo a suposição de que 30% do consumo de energia da Escola Estadual Padre Antão é para a iluminação das salas de aula. O tempo de retorno (*payback*) do investimento, utilizando a taxa do governo (Selic) de 6,4%/ ano, com um tempo de retorno descontado de 4 anos.

### 6.1.3 Sensores de Presença

Outra indicação que pode ser feita em relação à eficiência energética é a utilização de sensores de presença controlando a iluminação em áreas ambientes que apresentam frequência inconstante de pessoas e que permanecem acesas mesmo não havendo qualquer atividade sendo desempenhada, como corredores, pátios e banheiros. As luzes só são acesas quando houver uso do espaço, otimizando o consumo.

A economia de energia com a aplicação desse artifício mostra uma variação muito grande em diferentes estudos (Roisin et al., 2008). Em estudo realizado por Jennings, Rubinstein, DiBartolomeo e Blanc (2000), em escritórios, a diminuição na demanda de energia foi de 20%. No estudo de Roisin, Bodart, Deneyer, e D'herdt, (2008), essa economia é observada, no entanto depende da taxa de ocupação da edificação, quanto maior for a ocupação menor é a economia.

### 6.1.4 Proteção Solar: Brise

Uma possível solução para melhorar o conforto térmico é a adição de brises, exemplo de protetores solares externos, que segundo Maragno (2000), apresentam-se como os mais eficientes, visto que barram o calor antes que ele penetre no ambiente, o percentual de redução de ganho solar varia de 75 a 90% quando aplicado sobre vidro simples transparentes. Este elemento pode contribuir com outros benefícios simultaneamente como captar a ventilação natural, dar privacidade visual, refletir e distribuir a luz natural (Maragno, 2000).

Na escola em estudo, na qual considerou-se a posição das fachadas, a sugestão é adição de brises na posição vertical e com acesso para movimentá-los e ajustá-los ao movimento do sol nas fachadas noroeste e nordeste, bem como nas fachadas a sudeste e sudoeste. Os brises móveis possuem lâminas flexíveis, de fácil utilização, que permitem aos usuários ajustá-los de acordo com o movimento do sol e as necessidades de menos ou mais luz natural. Já existem, também, sistemas móveis com sensores automáticos que posicionam os brises em relação ao sol (Maragno, 2000).

### 6.1.5 Telha de fibrocimento pintada de branco

Em relação à cobertura da edificação, conforme estudado por Venâncio e Pedrini (2008), a sugestão para o melhor desempenho e conforto térmico é a telha de fibrocimento pintada de branco com camada de ar (20cm) e laje de concreto. Ao passo que a superfície branca absorve menos calor, permitindo a perda de calor durante a noite.

### 6.1.6 Sugestão de prioridade de ação

A Figura 47 faz um resumo das propostas de melhorias sugeridas, com vantagens e desvantagens.

Proposta	Vantagens	Desvantagens
Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpada LED(Yeh & Chung, 2009)(Steele, 2007)	Menor consumo, maior durabilidade. Pode ser feito aos poucos.	Investimento a ser feito.
Modificação dos circuitos de iluminação (Barros et al., 2006)	Economia de energia, racionalização de uso	Mudança no projeto original.
Controle independente de acionamento do sistema de iluminação (Roisin et al., 2008)(Moraes & Claro, 2014)	Redução de desperdícios, controle mais efetivo, independência do usuário ou facilitada para ele.	Depende da mudança do comportamento dos usuários da edificação
Utilização de sensores de luz nas áreas de permanência temporária (Roisin <i>et al.</i> , 2008)(Jennings et al., 2000)	Redução no consumo de energia.	Depende da quantidade de pessoas, se for alto o retorno do investimento é baixo.
Uso de brises que melhorem o sombreamento vertical(Maragno, 2000)	Melhorar conforto térmico.	Mudança no projeto original. Investimento a ser feito

Telha de alumínio pintada de branco com espaço para vazão de ar (Venâncio & Pedrini, 2008)	Melhorar conforto térmico.	Mudança no projeto original. Investimento a ser feito
--	----------------------------	---

**Figura 47: Relação de proposta de melhoria de eficiência energética. Fonte:** autora.

A Figura 47 mostra um quadro que pode servir como apoio para os gestores analisarem as vantagens e desvantagens em implantar as sugestões levantadas pelo estudo. No entanto, a administração do edifício tem autonomia limitada para executar e propor melhorias ao FDE. Essa autonomia limitada está relacionada a fatores técnicos e financeiros, já que é o FDE quem determina quais melhorias devem ser propostas nas escolas e quem viabiliza os projetos.

## 6.2 ANÁLISE DE USO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO PROCEL-EDIFICA

O Método de Simulação permite a análise da eficiência energética em edifícios a partir do levantamento dos dados necessários para o *software* encarregado dos cálculos. A dificuldade encontrada na pesquisa foi obter esses dados, devido à idade do prédio em estudo (54 anos). As plantas foram fornecidas em formato eletrônico com a extensão PDF e com poucas cotas, além de difícil leitura. Com isso, foram necessárias medições no local, perdendo um tempo desnecessário se a documentação e aqueles arquivos estivessem disponíveis, bem como outros dados de iluminação, equipamentos e dos componentes da edificação.

O método do Procel-Edifica de Simulação, no critério de Sistema de Iluminação, para a construção dos modelos de referência determina a densidade de potência de iluminação, pelo método da área da edificação, conforme mostrado na Figura 39. No entanto, esse método apresenta algumas questões que devem ser discutidas.

O primeiro ponto é que o manual RTQ-C não determina para cada tipo de ambiente da escola uma densidade de potência de iluminação, apresenta uma determinação geral para cada nível pretendido. Não considera, portanto, a real necessidade de iluminação para diferentes atividades, desta forma, não relaciona o consumo de energia ao nível de conforto visual, que interfere diretamente na iluminância que deve ser atendida de acordo com a ABNT NBR 5413. Isso pode ocasionar uma distorção na classificação, pois um edifício pode ser aparentemente muito eficiente, mas não satisfazer às necessidades dos ocupantes. Não faria sentido um prédio eficiente energeticamente, mas que não atendesse às condições ideais de uso. Um bom projeto de

iluminação deve proporcionar o conforto visual, despertar a atenção e estimular a eficiência (Secretaria de Energia, 2004). Nessa perspectiva é que Sampaio, Botura e Lourenço Júnior (2013 p.114), definem o conceito de eficiência de sistema de iluminação: “Um sistema de iluminação energeticamente para ser eficiente traz benefícios econômicos sem comprometer a qualidade de vida e o trabalho do usuário”.

Deve-se considerar também que a densidade de potência de iluminação de todos os níveis, inclusive do nível A, que apresenta o menor valor, já é superior à demanda da escola, mesmo se tratando de lâmpadas fluorescentes. Dessa maneira, a classificação de nível A da edificação em estudo (apenas em relação à demanda de energia) é questionável, principalmente quando se sabe que a demanda de energia calculada em todos os modelos simulados é na maior parte para a iluminação, já que a escola não apresenta nenhum ambiente com climatização artificial. Em escola nestas condições a iluminação pode representar de 70% a 80% da demanda de energia (Secretaria de Energia, 2004).

Esses valores determinados pelo manual RTQ-C são ainda mais inadequados quando comparados pela potência necessária das lâmpadas LED. Uma vez que uma lâmpada de LED equivalente a 15 W da fluorescente necessitam apenas de 8 Watts para emitir luz, refletindo num gasto bem menor que as demais, cerca de 1.000 kWh (Santos *et al.*, 2015).

Outro ponto a ser considerado em relação ao método da simulação do PROCEL Edifica é a determinação de transmitância térmica e absorptância térmica, quando se trata de ambientes com ventilação natural. Essas determinações afetam muito pouco na demanda energética e no conforto térmico das simulações desse tipo de modelo. Isso acontece porque o modelo de ventilação adotado pelo *EnergyPlus*, calcula as vazões de ar, que interferem na demanda de energia e no conforto térmico, com base na avaliação da direção e velocidade do vento em cada ambiente, portanto, mudanças da composição da envoltória não mudam as avaliações das simulações nesse tipo de modelo. Essas determinações são mais bem avaliadas para simulações com ambientes climatizados. Avalia-se, portanto, que tanto as determinações do manual RTQ-C, no quesito envoltória, quanto o programa *EnergyPlus* são mais adequados para avaliarem edificações com condicionamento de ar.

O método do Procel-Edifica, apesar de considerar as características de ocupação do prédio, por meio do *software* de simulação, como horário de funcionamento e quantidade de pessoas por ambiente, não leva em conta as atitudes dos usuários com relação à economia de

energia ou gasto excessivo, por exemplo, acionamento de luz mesmo sem necessidade. Do ponto de vista da conservação de energia, uma das causas de desperdício é a operação de sistemas elétricos de forma irresponsável, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas eficientes desnecessariamente acesas (Nogueira, 2007).

Então, como saber se as atitudes dos usuários vão influenciar na eficiência da edificação? Para isso seriam necessárias avaliações na fase de uso do prédio, utilizando outro sistema que trabalhasse com indicadores operacionais, para permitir obter uma melhor caracterização durante seu ciclo de vida (Neumann & Jacob, 2008). Segundo CBCS (2014), o programa PBE Edifica futuramente será complementado com uma avaliação e certificação do desempenho energético operacional na fase de uso do edifício.

Ademais o método da simulação, mesmo considerando alguns parâmetros do método prescritivo não considera nenhum pré requisitos em nenhum dos aspectos avaliados como, a divisão dos circuitos de iluminação e contribuição da luz natural para o nível A para sistema de iluminação. Para a classificação final leva-se em conta apenas o consumo energético e o conforto térmico. Dessa maneira, a classificação pode ser vaga. Além do que a etiqueta de Edificação Construída não tem prazo de validade.

## 7 CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a eficiência da edificação em relação ao desempenho energético é classificada em nível A, portanto, EqNumS é 5, e para o percentual de horas ocupadas em conforto a edificação é classificada em nível C, portanto, EqNumV é 3do PROCEL- Edifica. Como, nos casos em que o EqNumV é menor ou igual ao EqNumS a classificação final é dada pelo EqNumV, a classificação final da edificação é o resultado do EqNumV, que é Nível C, ou seja, a edificação apresenta Etiqueta Geral C. Com isso, o objetivo de verificar a condição atual do prédio foi atendido.

Por meio do sistema PROCEL-Edifica, da literatura e entrevistas não estruturadas a arquitetos, foram identificadas e sugeridas algumas medidas para a melhoria da eficiência energética, como substituição das lâmpadas por modelos mais eficientes, alteração nos circuitos de iluminação, inclusão de elementos de sombreamento. Dessa forma, o objetivo específico de identificar oportunidades de melhorias tecnológicas e de materiais foi atendido, e foram levantados os custos para algumas medidas e o tempo de retorno do investimento.

### 7.1 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

A dificuldade de conseguir determinadas informações técnicas, além de documentos de engenharia com informações atuais, contribuíram para um gasto de tempo desnecessário, além da necessidade de aproximação de alguns dados técnicos.

Os custos de investimentos foram avaliados parcialmente, pois alguns dados não foram considerados devido à dificuldade de conseguir informações no FDE, que é quem viabiliza projetos em escolas. Na prática podem ter variações por conta de concorrência de licitações, esse aspecto não foi tratado no estudo.

Por se tratar de um estudo de caso, não é possível generalizar os resultados e conclusões obtidos. Para isso seria necessária a aplicação do método em mais escolas.

## 7.2 CONTRIBUIÇÃO PARA A TEORIA

Identificou-se uma limitação do modelo PROCEL-Edifica em particular, de que não é levada em conta a real necessidade de iluminação para diferentes atividades, não relaciona o consumo de energia ao nível de conforto visual. Esse ponto merece maior atenção em pesquisas futuras.

## 7.3 CONTRIBUIÇÃO PARA A PRÁTICA

Foi possível introduzir críticas construtivas no seu desenvolvimento em relação ao método do PROCEL-Edifica, como possível contribuição no aperfeiçoamento da metodologia.

Com relação ao método ele falha ao não levar mais em consideração a necessidade de iluminação de cada ambiente, além de determinar valores para a densidade de potência que podem não estar adequados ou muito superior à necessidade de cada nível de classificação. Além disso, para os critérios do manual o método simulação é mais adequado para avaliar edificações com condicionamento de ar.

Outra desvantagem do método adotado é não considerar nenhum pré-requisitos para a edificação em si, apenas em relação ao programa utilizado e ao arquivo climático. De tal maneira, que se torna uma classificação muito geral.

Outro fator é que o método adotado não leva em consideração o comportamento dos usuários em relação ao consumo de energia, avalia apenas a edificação em um determinado período, e, ainda se trata de uma etiqueta sem prazo de validade.

Com este estudo espera-se ter contribuído com um exemplo de uso do método de avaliação.

## 7.4 SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS

Repetir a pesquisa considerando as propostas de melhorias, para comparar os resultados de demanda energética e o percentual de horas ocupadas em conforto com o modelo real já calculado.

Outra sugestão é realizar estudos com os dois métodos, Prescritivo e Simulação, para comparação das classificações obtidas, bem como para avaliar as possíveis melhorias introduzidas.

Outra sugestão é realizar estudos de conforto ambiental em todos os ambientes do prédio, para comparar a classificação obtida pela simulação (EqNumV) com a satisfação real dos usuários do edifício.

## REFERÊNCIAS

- Abeyundara, U. Y., Babel, S., & Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Building and environment*, 44(5), 997–1004.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR-1513: Iluminância de Interiores. *Rio de Janeiro: ABNT*.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). NBR-15220: Desempenho térmico de edificações. *Rio de Janeiro: ABNT*.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR ISO 14040: Gestão ambiental- avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT. [corrigendum publicado em 2014]*
- AES Eletropaulo (2015). Projetos Eficiência Energética 2015. Recuperado 28 de março de 2018, de <https://www.aeseletropaulo.com.br/sobre-a-aes-eletropaulo/pesquisa-e-desenvolvimento/Documents/EEELETROPAULO2015.pdf>
- ARCOweb. (2005). Vidros: Produtos asseguram conforto aos ambientes - ARCOweb. Recuperado 16 de junho de 2016, de <https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/vidros-para-arquitetura-01-05-2005>
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Relação de Projetos de Eficiência Energética concluídos, junho de 2018. Recuperado 18 de junho de 2018, de [http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset\\_publisher/94kK2bHDLPmo/content/gestao-do-programa/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-eficiencia-energetica%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_94kK2bHDLPmo%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kK2bHDLPmo/content/gestao-do-programa/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-eficiencia-energetica%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_94kK2bHDLPmo%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2)

- Ahmad, M. W., Mourshed, M., Mundow, D., Sisinni, M., & Rezgui, Y. (2016). Building energy metering and environmental monitoring. *Pulse*, *125*(185), 150–265.
- Altoé, L., Costa, J. M., Oliveira Filho, D., Martinez, F. J. R., Ferrarez, A. H., & Viana, L. de A. (2017). Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. *Estudos Avançados*, *31*(89), 285–297.
- Aman, M. M., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., & Bakar, A. H. A. (2013). Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, *52*, 482–500.
- Amstalden, R. W., Kost, M., Nathani, C., & Imboden, D. M. (2007). Economic potential of energy-efficient retrofitting in the Swiss residential building sector: The effects of policy instruments and energy price expectations. *Energy policy*, *35*(3), 1819–1829.
- Azens, A., & Granqvist, C. (2003). Electrochromic smart windows: energy efficiency and device aspects. *Journal of Solid State Electrochemistry*, *7*(2), 64–68.
- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., & Williams, M. J. (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, *48*, 215–223.
- Baldi, S., Michailidis, I., Ravanis, C., & Kosmatopoulos, E. B. (2015). Model-based and model-free “plug-and-play” building energy efficient control. *Applied energy*, *154*, 829–841.
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(4), 1753–1766.
- Barros, J. S., Silva, M. F. L., & Araújo, V. H. de A. (2015). Um sistema de monitoramento e controle elétricos em sala de aulas de instituições de ensino superior. *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, *6*.

- Borges, A. V., & Moraes, A. F. de. (2013). Edifícios Públicos: Caminhos para a Concepção de Projetos Sustentáveis. *Projetar*, 6.
- Brasil. (2014). Instrução Normativa Nº 2, de 4 de junho de 2014. Recuperado 10 de abril de 2018, de <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>
- Brasil. (2016). Balanço Energético Nacional 2016 - ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado 03 de outubro de 2018, de <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2016>
- Carlo, J. C., & Lamberts, R. (2005). *Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações* (No. LabEEE-200504). Florianópolis, SC, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Cavalcante, M. L. S. A. (2012). Administração Pública e Agenda Ambiental—A3P—Considerações sobre a implementação nos órgãos públicos. *Revista Controle: Doutrinas e artigos*, 10(1), 193–216.
- CBCS (2014). Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas. Recuperado 23 de junho de 2018, de <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>
- Celik, A. N. (2002). Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic–wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems. *Energy Conversion and Management*, 43(18), 2453–2468.
- Cheung, C. T., Mui, K. W., & Wong, L. T. (2015). A hybrid simulation approach to predict cooling energy demand for public housing in Hong Kong. *Building simulation*, 8, 603–611.

- Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and sustainable energy reviews*, 37, 123–141.
- Coley, D. A., Greeves, R., & Saxby, B. K. (2007). The effect of low ventilation rates on the cognitive function of a primary school class. *International Journal of Ventilation*, 6(2), 107–112.
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and environment*, 43(4), 661–673.
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Pedersen, C. O., & Winkelmann, F. C. (2000). Energy plus: energy simulation program. *ASHRAE journal*, 42(4), 49–56.
- Degani, C. M., & Cardoso, F. F. (2002). A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. *Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo*.
- Derenski, J., Porse, E., Gustafson, H., Cheng, D., & Pincetl, S. (2018). Spatial and temporal analysis of energy use data in Los Angeles public schools. *Energy Efficiency*, 11(2), 485–497.
- Diamond, S. C., & Hunn, B. D. (1981). *Comparison of DOE-2 computer program simulations to metered data for seven commercial buildings*. Los Alamos Scientific Lab., NM (USA).
- Didoné, E. L. (2009). A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.

- Dixit, M. K., Culp, C. H., & Fernández-Solís, J. L. (2013). System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *21*, 153–164.
- DOE. (2018). *EnergyPlus*. USA: Department of Energy's. Recuperado de <https://energyplus.net/>
- DOE. (2017). *EnergyPlus*. USA: Department of Energy's. EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation- Engineering Reference.
- Dowd, R. M., & Mourshed, M. (2015). Low carbon buildings: Sensitivity of thermal properties of opaque envelope construction and glazing. *Energy Procedia*, *7*, 1284–1289.
- Dutton, W. H. (2014). Putting things to work: social and policy challenges for the Internet of things. *info*, *16*(3), 1–21.
- Fawaz, A.-N., Ruparathna, R., Chhipi-Shrestha, G., Haider, H., Hewage, K., & Sadiq, R. (2016). Sustainability assessment framework for low rise commercial buildings: life cycle impact index-based approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *18*(8), 2579–2590.
- Fay, M. R. (1999). *Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings* (Tese de doutorado). University of Melbourne, Melbourne, Victoria, Austrália.
- Ferrador Filho, A. L. (2017). *Eficiência energética em edificações-estudo de caso tribunal de justiça de São Paulo* (Dissertação de mestrado). Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP, Brasil.
- Ferreira, C. C., & Souza, R. V. (2009). Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural. *Encontro Nacional*, *10*.
- Ferreira, M. A. M. A. (2009). *A eficiência energética na reabilitação de edifícios* (Dissertação de mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- FDE.(2011). Projetos normas: arquitetura. Recuperado 01 de outubro de 2018, de [https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Pages/CatalogosTecnicos/AP%20Download/normas\\_arquitetura.pdf](https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Pages/CatalogosTecnicos/AP%20Download/normas_arquitetura.pdf)
- FDE.(2011). Normas e relatórios: elétrico. Recuperado 01 de outubro de 2018, de [https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Pages/CatalogosTecnicos/AP%20Download/normas\\_eletrica.pdf](https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Pages/CatalogosTecnicos/AP%20Download/normas_eletrica.pdf)
- Flick, U. (1992). Triangulation revisited: strategy of validation or alternative? *Journal for the theory of social behaviour*, 22(2), 175–197.
- Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A. H., Tanishima, S., & Unander, F. (2006). Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. *Energy policy*, 34(5), 556–573.
- Goldemberg, J., & Lucon, O. (2007). Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos avançados*, 21(59), 7–20.
- Gonçalves, J. C. S., & Duarte, D. H. S. (2006). Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. *Ambiente Construído*, 6, 51–81.
- Graça, V. A. C. da, Kowaltowski, D. C. C. K., & Petreche, J. R. D. (2005). An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. *Building and Environment*, 42(2), 984–999.
- Gutierrez, G. C. R., & Labaki, L. C. (2005). Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira. *ENCAC–Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e ELACAC-Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído*, Maceió, AL.

- Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. C., Toyinbo, O., & Moschandreas, D. J. (2015). An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. *Building and Environment*, *93*, 35–40.
- Hegner, S. (2007). *Embodied energy for energy efficiency measures, an assessment of embodied energy's relevance for energy saving in the Swiss residential building sector* (Tese de doutorado). Department of Environment Science, ETH, Zurich, Switzerland.
- Hendrickson, C. T., Lave, L. B., & Matthews, H. S. (2006). *Environmental life cycle assessment of goods and services: an input-output approach*. Washington: Resources for the Future.
- INEP (2017). Censo Escolar da Educação Básica 2016 - Notas Estatísticas. Recuperado 27 de junho de 2018, de [http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/censo\\_escolar/notas\\_estatisticas/2017/notas\\_estatisticas\\_censo\\_escolar\\_da\\_educacao\\_basica\\_2016.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/notas_estatisticas/2017/notas_estatisticas_censo_escolar_da_educacao_basica_2016.pdf)
- International Energy Agency. (2013). Redrawing the Energy-climate Map: World Energy Outlook Special Report. OECD/IEA.
- International Energy Agency. (2018). Energy Efficiency 2018. OECD/IEA. Recuperado 10 de outubro de 2018, de <https://www.iea.org/weo/>
- Iyiegbuniwe, E. A. (2014). Net-zero energy: a case study on renewable energy and policy issues at Richardsville Elementary School, Kentucky. *International Journal of Energy Technology and Policy*, *10*(1), 61–79.
- Jenkins, D., & Muneer, T. (2003). Modelling light-pipe performances—a natural daylighting solution. *Building and Environment*, *38*(7), 965–972.
- Jennings, J. D., Rubinstein, F. M., DiBartolomeo, D., & Blanc, S. L. (2000). Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, *29*(2), 39–60.

- Juan, Y.-K., Gao, P., & Wang, J. (2010). A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement. *Energy and buildings*, 42(3), 290–297.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674–701.
- Krarti, M. (2015). Evaluation of large scale building energy efficiency retrofit program in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1069–1080.
- Kreith, F., & Goswami, D. Y. (2007). *Energy management and conservation handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Kumbaroğlu, G., & Madlener, R. (2012). Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings. *Energy and Buildings*, 49, 327–334.
- Lamberts, R., Ghisi, E., Abreu, A. L. P. de, & Carlo, J. C. (2005). *Desempenho térmico de edificações*. Curso: ECV 5161, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Lamberts, R., Ghisi, E., Pereira, C. D., & Batista, J. O. (2010). *Casa eficiente: consumo e geração de energia* (Vol. 2). Florianópolis: UFSC/LABEE.
- Lei n. 9.991, de 24 de julho de 2000* (2000). Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília. 2000. Recuperado em 27 de julho, 2018, de <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9991-24-julho-2000-359823-normaatualizada-pl.html>
- Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001* (2001). Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília. 2001. Recuperado em 27 de julho, 2018, de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm)

- Li, D. H., Yang, L., & Lam, J. C. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications—A review. *Energy*, *54*, 1–10.
- Li, R. Y. M. (2013). The usage of automation system in smart home to provide a sustainable indoor environment: a content analysis in Web 1.0. *International Journal of Smart Home*, *7*, 47–60.
- Liyin, S., Hong, Y., & Griffith, A. (2006). Improving environmental performance by means of empowerment of contractors. *Management of environmental quality: an international journal*, *17*(3), 242–257.
- Lopes, L. B. (2014). Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública. *UFRJ, Rio de Janeiro*.
- Lowe, R. (2000). Defining and meeting the carbon constraints of the 21st century. *Building Research & Information*, *28*(3), 159–175.
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and buildings*, *55*, 889–902.
- Maragno, G. V. (2000). Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande-MS.
- Memon, S. A. (2014). Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. *Renewable and sustainable energy reviews*, *31*, 870–906.
- Moraes, L. N., & Claro, A. (2014). Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia. *Ambiente Construído*, *13*(4), 59–74.
- Motta, S. F., & Aguilar, M. T. P. (2009). Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, *4*(1), 88–123.
- MMA (2018). O que é A3P?. Recuperado 03 de novembro de 2018, de <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p>

- Nandi, S. K., & Ghosh, H. R. (2010). Prospect of wind–PV-battery hybrid power system as an alternative to grid extension in Bangladesh. *Energy*, 35(7), 3040–3047.
- Neumann, C., & Jacob, D. (2008). Guidelines for the evaluation of building performance. *Building EQ, Project Report*.
- Nogueira, L. A. H. (2007). Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*, 21(59), 91–105.
- NREL. (2018). *OpenStudio*. USA: National Renewable Energy Laboratory. Recuperado de <https://www.openstudio.net/>
- Ordenes, M., Pedrini, A., Ghisi, E., & Lamberts, R. (2003). Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1. *UFSC. Florianópolis*.
- Oreszczyn, T., & Lowe, R. (2010). Challenges for energy and buildings research: objectives, methods and funding mechanisms. *Building Research & Information*, 38(1), 107–122.
- Ortiz-Rodríguez, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2010). Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Science of the total environment*, 408(12), 2435–2443.
- Pacheco, F. (2006). Energias Renováveis: breves conceitos. *Conjuntura e Planejamento*, 149, 4–11.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., & Maestre, I. R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*, 41(3), 272–278.
- PNE.(2007). Plano Nacional de Energia 2030. Recuperado 01 de novembro de 2018, de <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Projeções.pdf

PROCEL. (2006). Selo Procel Edificações. Recuperado 28 de julho de 2018, de

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>

PROCEL Edifica. (2016). Manual para Aplicação do RTQ-C Vol. 4.1 - versão 4. Recuperado 13 de fevereiro de 2018, de

[www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual\\_rtqc2016.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf)

PROCEL, & Eletrobrás. (2017). Resultados PROCEL 2017 - Ano Base 2016. Recuperado de 28 de abril de

[http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017/docs/rel\\_procel2017\\_web.pdf](http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017/docs/rel_procel2017_web.pdf)

Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and buildings*, 42(10), 1592–1600.

Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2013). Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. *Energy*, 63, 168–179.

Roisin, B., Bodart, M., Deneyer, A., & D'herdt, P. (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. *Energy and Buildings*, 40(4), 514–523.

Roméro, M. de A., & Reis, L. B. dos. (2012). *Eficiência energética em edifícios*. Editora Manole.

Roslizar, A., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Asim, N., & Sopian, K. (2014). Annual energy usage reduction and cost savings of a school: end-use energy analysis. *The Scientific World Journal*.

Sampaio, H. C., Botura, C. A., & Lourenço Júnior, J. (2013). Conservação de energia em sistema de iluminação. *Revista de Gestão & Tecnologia-Reget*, 1(1).

- Santos, T. S. dos, Batista, M. C., Pozza, S. A., & Rossi, L. S. (2015). Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. *Eng Sanit Ambient, 20*(4), 595–602.
- Secretaria de energia. (200?). Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola. Recuperado 15 de novembro de 2018, de <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12671288/manual-de-economia-de-energia-eletrica-na-escola-eco-reporter->
- Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34*, 409–429.
- Sherman Carter Barnhart (2012) *Richardsville Elementary: Net Zero Energy School Data Sheet*. Recuperado 14 de maio de 2018 de: <http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/11817/12F-Richardsville-Elementary-School-Richardsville-KY.pdf>
- Soares, S. R., & Pereira, S. W. (2004). Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. *Ambiente Construído, 4*(2), 83–94.
- Steele, R. V. (2007). The story of a new light source. *Nature photonics, 1*(1), 25.
- Taborianski, V. M., & Prado, R. T. (2004). Comparative evaluation of the contribution of residential water heating systems to the variation of greenhouse gases stock in the atmosphere. *Building and Environment, 39*(6), 645–652.
- Tiwari, G. N., Mishra, R. K., & Solanki, S. C. (2011). Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modelling. *Applied energy, 88*(7), 2287–2304.
- Tolmasquim, M. T., Guerreiro, A., & Gorini, R. (2007). Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos-CEBRAP, (79)*, 47–69.
- Trimble Inc. (2018). SketchUp. Recuperado de <https://www.sketchup.com/>

United Nations Environment Programme

- Venâncio, R., & Pedrini, A. (2008). Influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética de edificações do campus/UFRN. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 12.
- Wang, S., Yan, C., & Xiao, F. (2012). Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. *Energy and buildings*, 55, 873–888.
- Warburg, N., Braune, A., Eyerer, P., Herrmann, C., & Gallon, N. (2005). Environmental indicators for ICT products—a practical approach based on four steps. In *Electronics and the Environment, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on* (p. 226–230). IEEE.
- Yeh, N., & Chung, J.-P. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175–2180.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos*. Bookman editora.
- Yudelson, J. (2010). *The green building revolution*. Island Press.

**ANEXO A – EDIFÍCIOS COMERCIAIS, PÚBLICOS E DE SERVIÇOS CERTIFICADOS  
COM O SELO PROCEL EDIFICAÇÕES (ETIQUETA “A” NO PROCEL-  
EDIFICA)**

Figura AA1:

Nome da Edificação	Empresa/ Grupo solicitante	Endereço da Edificação	Etapa	Data do Selo
Centro de Comando e Controle Fixo do 34º BIMEC	Comissão Regional de Obras da Quinta Região Militar	Av. República Argentina, 593 - Jardim taroba, Foz do Iguaçu - PR	Projeto	24/01/2018
Agência CEF UBATUBA	Caixa Econômica Federal	Rua Conceição, 128 - Centro Ubatuba - SP	Projeto	02/03/2017
Edifício Sede do SEBRAE-CE	SEBRAE-CE	Av. Monsenhor Tabosa, 777 - Praia de Iracema - Fortaleza/CE	Ed. Construído	12/01/2017
Nova Sede do Fórum Cível e Criminal na Comarca de Porto Velho - RO	Mafra Arquitetos Associados de Juiz de Fora Ltda - EPP	Av. Governador Jorge Teixeira, s/nº - Quadra 33 - São Cristóvão - Porto Velho/RO	Projeto	13/12/2016
Edifício Sede da Direcional Engenharia	Direcional Engenharia S.A	Rua do Otoni,177, Sta Efigênia, BH/MG	Projeto	13/12/2016
Centro de Gestão e Armazenamento de Materiais (CEAM)	Câmara dos Deputados	Trecho 5, Lote 10 a 60, Setor de Abastecimento e Industria(SAI) - Brasília/DF	Projeto	14/09/2016
Departamento de Engenharia Civil	Universidade Federal de Santa Catarina	Campus Reitor João David Ferreira Lima, Rua João Pio Duarte da Silva,205- Florianópolis/ SC	Projeto	31/08/2016
Edifício Candelária Corporate	Casa do Futuro	Rua Candelária, 65- Rio de Janeiro/Rj	Ed. Construído	03/05/2016
Posto Franzen	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Rua Melvin Jones, 82- Canela/RS	Ed. Construído	23/02/2016
Posto Gás & Oi	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Q C. O. E. R. (Coer) Quadra 03 PII Do Set Oe, Sobradinho II- Brasília/ DF	Ed. Construído	23/02/2016
Posto SL	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Visconde do Rio Branco ,5922Aerolândia, Fortaleza/CE	Ed. Construído	23/02/2016
Posto Rezende	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Gentil Bittencourt, 1096- Nazaré, Belém/PA	Ed. Construído	23/02/2016
Posto Angra Bate	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Sete de Setembro, 4814Curitiba/PR	Ed. Construído	23/02/2016
Posto MF	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Marcelino Pires, 2181- Dourados/MS	Ed. Construído	23/02/2016
Edifício Jacarandá	OPI2 São Paulo Empreendimentos Imobiliários SPE Ltda	Rua Sansão Alves dos Santos,400- Brooklin, São Paulo/ SP	Ed. Construído	25/11/2015

Posto Lua de Prata	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Rua Sansão Alves dos Santos,400- Brooklin, São Paulo/ SP	Ed. Construído	23/11/2015
Posto Londrinão	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Duque de Caxias, 2009- Londrina/ PR	Ed. Construído	23/11/2015
Auto Posto Lucas Garcez	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Eng. Lucas Nogueira Garcez, 608- São Bernardo do Campo-SP	Ed. Construído	05/11/2015
Posto Corimba	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Dom Pedro I , 2421- Ribeirão Preto- SP	Ed. Construído	06/11/2015
Posto Jardim Miriam	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Rua João Batista Queiroz Junior, 457- Campinas- SP	Ed. Construído	06/11/2015
Posto Servicar	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Presidente Getúlio Vargas, 910Paulina- SP	Ed. Construído	06/11/2015
Posto Oasis	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Av. Barão de Itapura, 2890- CampinasSP	Ed. Construído	06/11/2015
Ed. Aureliano Chaves	Fund. Forluminas de Seguridade Social - Forluz	Av. Barbacena, 1219, Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG	Ed. Construído	16/10/2015
Ed. Aureliano Chaves	Fund. Forluminas de Seguridade Social - Forluz	Av. Barbacena, 1219, Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG	Ed. Construído	16/10/2015
Edifício The One - Áreas Comuns	Condomínio do Edifício The One	Av. Raja Gabaglia, 1143 - Luxemburgo - Belo Horizonte - MG	Ed. Construído	22/10/2015
Posto Jardim Carioca	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Rua Muaituca, 125, Jardim Carioca - Rio de Janeiro - RJ	Ed. Construído	27/03/2015
Posto Carbat	Ipiranga Produtos de Petróleo S.A	Estrada dos Três Rios, 2141, Jacarepaguá - Rio de Janeiro - RJ	Ed. Construído	27/03/2015
Anexo BI 01 - Swire Bella Vista	Swire Oilfield Services do Brasil Ltda	Rua Rommel Oliveira Garcia (Piloto), S/N - Macaé - RJ	Ed. Construído	25/08/2015
Bloco B da Esplanada dos Ministérios	Ministério do Meio Ambient	Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília - DF	Ed. Construído	08/05/2015
Empreendimento Hangar 07- Hall de acesso	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014
Empreendimento Hangar 06- Hall de acesso	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014
Empreendimento Hangar 05- Hall de acesso	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014
Empreendimento Hangar 04- Hall de acesso	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014
Empreendimento Hangar 03- Hall de acess	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014
Empreendimento Hangar 02- Hall de acesso	Consórcio Hangar	Av. Luís Viana, 13145 - São Cristóvão - Salvador - BA	Ed. Construído	26/11/2014

Sede Eletrosul	Eletrobras Eletrosul	Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 999 - Florianópolis - SC	Ed. Construído	26/11/2014
Setor de Manutenção	Eletrobras Eletrosul	Rodovia BR-410, km 346, Vila Encruzilhada. Campos Novos - SC	Ed. Construído	26/11/2014
Hotel Bandeirantes	Hotel e Restaurante Bandeirantes	Av. Ramiro Gonçalves da Silva, 191 - Cachoeira do Campo - MG	Projeto	26/11/2014
Edifício The One - Áreas Comuns	Condomínio do Edifício The	Av. Raja Gabaglia, 1143 - Luxemburgo - Belo Horizonte - MG	Projeto	26/11/2014
Anexo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo em Pelotas / RS	Universidade Federal de Pelotas	Rua Benjamin Constant, 359 - Pelotas - Rs	Projeto	26/11/2014
Anexo I - Museu do Meio Ambiente	Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro	Rua Jardim Botânico, 1008 - Rio de Janeiro - RJ	Projeto	26/11/2014
Centro de Documentação da História da Saúde no Rio de Janeiro/RJ	Casa de Oswaldo Cruz/ Fiocruz	Av. Brasil, 4365 - Manguinhos - Rio de Janeiro - RJ	Projeto	26/11/2014
Centro de Educação para Eficiência Energética em Guaratinguetá	Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - UNESP	Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Guaratinguetá - SP	Projeto	26/11/2014
Edifício sede em Londrina/PR	Caixa Econômica Federal	Av. Maringá, 1415 - CEP 86060-000 - Londrina - PR	Projeto	26/11/2014

**Figura AA1: Relação de edificações Comerciais, Públicas e de Serviços certificadas com o selo PROCEL Edificações (Avaliados com etiqueta geral “A” no PROCEL-Edifica). Fonte: autor, adaptado de documento recuperado de (“Selo Procel Edificações”, [s.d.]**

## ANEXO B – EXTRATO DA FICHA AMBIENTE SALA DE AULA

Ambientes

# 08A

### Sala de Aula

Conjunto funcional **Pedagógico**  
 Programa arquitetônico **Anos Iniciais / Anos Finais / Anos Finais + EM / EM**  
 Módulo básico **M1 e M12**  
 Data **Julho/2018**

Página  
**6/8**

## Especificações

### CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

- Ambiente onde se desenvolvem as atividades de ensino e aprendizagem.

### DIRETRIZES PARA PROJETO

- Prever comando distinto para iluminação setorizada do ambiente, visando melhor aproveitamento da iluminação natural.
- Prever espaço para a distribuição e instalação de itens de Mobiliário e Equipamentos conforme tabelas - ver item 'MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTOS' e item 'NOTA A SER INSERIDA EM PROJETO'.
- Ambiente sujeito a invasão sendo necessário maior nível de segurança.
- Sinalização do ambiente de acordo com o **Manual do Sistema de Sinalização para Edificações Escolares**.

**Obs. 1:** Fica dispensada a instalação de ventiladores em novas obras que sejam objeto de processos de certificação ambiental, considerando a comprovação da eficiência da ventilação natural neste ambiente.

### EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS

- Pé direito mínimo: 3,00m.
- Área de iluminação natural mínima: 1/5 da área do piso.
- Área de ventilação natural mínima: 1/10 da área de piso.
- A profundidade do ambiente em relação ao posicionamento dos caixilhos não poderá ser superior a três vezes seu pé direito, incluída na profundidade a projeção de saliências ou cobertura.
- Laje obrigatória.
- Iluminação fluorescente.
- Nível mínimo de iluminamento: 300 lux.
- Carga accidental a ser prevista: 300 kgf/m<sup>2</sup>.
- Classificação acústica: resguardado.
- As soluções arquitetônicas e os acabamentos devem ser projetados levando-se em conta a qualidade acústica e térmica do ambiente considerando insolação; ruídos internos e externos à edificação.
- Iluminação natural unilateral preferencialmente à esquerda da lousa (vista de frente) sendo admitida a iluminação zenital, quando solucionado ofuscamento.
- Ventilação cruzada obrigatória através de caixilhos situados na parede oposta à das janelas.
- Parede com acabamento impermeável.
- Piso impermeável, de fácil higienização e resistente a tráfego intenso.
- As instalações para computadores, impressoras e racks devem ser exclusivas, não admitindo-se compartilhamento de eletrodutos, caixas de passagem e quadro de distribuição com os outros circuitos elétricos.

### INSTALAÇÕES

- 1 tomada baixa, 10A / 110V ou de acordo com a tensão local (h=0,40m do piso), de uso geral.
- 2 tomadas altas, 10A / 110V ou de acordo com a tensão local (h=2,20m do piso), para os ventiladores.
- 1 tomada baixa lógica (h=0,40m do piso).
- 2 tomadas altas lógica (h=0,05m abaixo da laje superior).
- 1 tomada baixa, 10A / 110V para TI (Tecnologia da Informação) - h=0,40m do piso.

- 1 tomada baixa, 20A / 110V para TI (Tecnologia da Informação) - h=0,40m do piso.
- 2 tomadas altas 10A / 110V para TI (Tecnologia da Informação) h=0,10m abaixo da laje superior.
- 2 caixas 4" x 2" embutidas na parede para comando do ventilador (h=1,00m do piso) - ver **Obs. 1**
- 3 interruptores bipolares (h=1,00m do piso).
- 8 luminárias / lâmpadas fluorescentes / 2 x 32W (ver **Obs. 2 e Obs. 3**).

### COMPONENTES A SEREM INDICADOS EM PROJETO

EF-	esquadria de ferro / ventilação cruzada - a especificar
EF-	esquadria de ferro a especificar
IL-45	luminária aberta com refletor para lâmpada fluorescente - 2 x 32W (ver <b>Obs. 2 e Obs. 3</b> )
ME-02	montante estrutural para esquadrias
PE-	peitoril a especificar
PM-	porta a especificar (vão livre mínimo = 80cm)
SI-04	placa 70 x 20cm - porta
SO-	soleira rampada a especificar

**Obs. 2:** A critério da gerência de projetos, deverá ser definido o padrão de iluminação, entre 32W ou 28W.

**Obs. 3:** A critério da gerência de projetos, alternativamente poderão ser usadas as luminárias IL-67, IL-74 e IL-80, sendo que os modelos de embutir (IL-67 e IL-80) serão sempre aplicados em conjunto com forro.

### MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTOS

#### Ciclo I (M1-M2-M3)

Qtd.	Código	Discriminação
02	AR-09	armário baixo (90cm x 45cm - h=78cm)
15	CJA-03 FDE ou CJA-03B FDE	conjunto para aluno - tamanho 3 (mesa: 60cm x 45cm - h=59cm / cadeira: 40cm x 31cm - h=35cm) conjunto para aluno - tamanho 3 - tampo injetado (mesa: 60cm x 45cm - h=59cm / cadeira: 40cm x 31cm - h=35cm)
15	CJA-04 FDE ou CJA-04B FDE	conjunto para aluno - tamanho 4 (mesa: 60cm x 45cm - h=64cm / cadeira: 40cm x 35cm - h=38cm) conjunto para aluno - tamanho 4 - tampo injetado (mesa: 60cm x 45cm - h=64cm / cadeira: 40cm x 35cm - h=38cm)
01	CJP-01 FDE	conjunto para professor (mesa: 120cm x 65cm - h=76cm / cadeira: 40cm x 43cm - h=46cm)
02	ES-06	estante baixa (90cm x 45cm - h=78cm)
01	FP-03	kit de faixas de proteção para sala de aula
01	FP-05	kit de faixas de exposição
01	LG-08	lousa branca multifuncional (L=5,00m) - sistema de superfícies multifuncionais
01	MA-02 FDE	mesa acessível para pessoa em cadeira de rodas - PCR (90cm x 60cm - h=76cm)
01	MR-03	mural multifuncional (L=1,25m) - sistema de superfícies multifuncionais
02	VN-02	ventilador de parede
01	*	projektor interativo

## APÊNDICE A – DADOS DA ILUMINAÇÃO

**Figura 25: Quantidade e tipos de lâmpadas no piso inferior.**

Andar	Ambiente	Quantidade	Número de Lâmpadas	Tipo	Potência (W)	Potência total de cada ambiente(W)
Inferior	Circulação	1	33	Fluorescente	32	1056
Inferior	Laboratório	1	32	Fluorescente	32	1024
Inferior	Banheiro	1	2	Fluorescente	32	64
Inferior	Sala de aula	2	12	Fluorescente	32	768
Inferior	Cantina	1	4	Fluorescente	32	128
Inferior	Cozinha	1	4	Fluorescente	32	128
Inferior	Despensa Cozinha	1	4	Fluorescente	32	128
Inferior	Auditório	1	22	Fluorescente	32	704
Inferior	Banheiro	1	4	Fluorescente	32	128
Inferior	Banheiro	1	2	Fluorescente	32	64
Inferior	Depósito	2	1	Fluorescente	32	64
Potência total do pavimento Inferior (Watts)						4256

**Fonte:** autora em visita a Escola Estadual Padre Antão/SP.

**Figura 26: Quantidade e tipos de lâmpadas no piso térreo.**

Andar	Ambiente	Quantidade	Número de Lâmpadas	Tipo	Potência (W)	Potência total de cada ambiente(W)
Térreo	Sala de Informática	1	12	Fluorescente	32	384
Térreo	Secretária	2	5	Fluorescente	32	320
Térreo	Banheiro	1	1	Fluorescente	32	32
Térreo	Sala dos Professores	1	19	Fluorescente	32	608
Térreo	Banheiro	1	2	Fluorescente	32	64
Térreo	Banheiro	1	2	Fluorescente	32	64
Térreo	Sala Diretor e Vice Diretor	1	17	Fluorescente	32	544
Térreo	Sala de Aula	5	12	Fluorescente	32	1920
Térreo	Coordenação	1	2	Fluorescente	32	64
Térreo	Circulação	1	24	Fluorescente	32	768
Térreo	Entrada	1	2	Fluorescente	32	64
Térreo	Depósito	1	2	Fluorescente	32	64
Potência total do pavimento Térreo (Watts)						4896

**Fonte:** autora em visita a Escola Estadual Padre Antão/SP.

**Figura 27: Quantidade e tipos de lâmpadas no piso superior.**

Andar	Ambiente	Qauntidade	Número de Lâmpadas	Tipo	Potência (W)	Potência total de cada ambiente(W)
Superior	Biblioteca	1	10	Fluorescente	32	320
Superior	Sala de Vídeo	1	8	Fluorescente	32	256
Superior	Sala de Aula	8	12	Fluorescente	32	3072
Superior	Circulação	1	26	Fluorescente	32	832
Superior	Depósito	2	2	Fluorescente	32	128
Potência total do pavimento Superior (Watts)						4608

**Fonte:** autora em visita a Escola Estadual Padre Antão/SP.

## APÊNDICE B – DADOS DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

**Figura 28:** Equipamentos elétricos

Ambiente	Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Soma (W)
Cozinha	Geladeira	1	250	250
Cantina	Ventilador	2	100	200
Secretaria	Computador	4	300	1200
Secretaria	Impressora	1	45	45
Secretaria	Máquina de xerox grande	1	2.000	2.000
Coordenação	Computador	1	300	300
Sala Diretor e Vice Diretor	Computador	2	300	600
Sala Diretor e Vice Diretor	Impressora	1	45	45
Sala de vídeo	Televisão	1	90	90

**Fonte:** autora em visita a Escola Estadual Padre Antão/SP.