

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA

VICTOR HUGO EVANGELISTA SCARSI

**ESTUDO DA ECONOMIA DE ENERGIA PROVENIENTE DO
CONTROLE INTELIGENTE DE ILUMINAÇÃO APLICANDO
PARÂMETROS DA CERTIFICAÇÃO LEED - ESTUDO DE CASO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2019

VICTOR HUGO EVANGELISTA SCARSI

**ESTUDO DA ECONOMIA DE ENERGIA PROVENIENTE DO
CONTROLE INTELIGENTE DE ILUMINAÇÃO APLICANDO
PARÂMETROS DA CERTIFICAÇÃO LEED - ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Elétrica” – Área de Concentração: Automação e Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Amauri Amorin Assef

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Scarsi, Victor Hugo Evangelista

Estudo da economia proveniente do controle inteligente de iluminação aplicando parâmetros da certificação LEED - Estudo de caso [recurso eletrônico] / Victor Hugo Evangelista Scarsi. -- 2019.

1 arquivo eletrônico (78 f.) : PDF : 2,66 MB.

Modo de acesso: World Wide Web.

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Energia. Área de Concentração: Automação e Sistemas de Energia, Curitiba, 2019.

Bibliografia: f. 71-75.

1. Sistemas de energia elétrica - Dissertações. 2. Faculdades Bom Jesus - Edifícios - Estudo de casos. 3. Automação predial - Conservação de energia. 4. Sistemas de controle inteligente. 5. Iluminação. 6. Ar condicionado. 7. Energia - Consumo. 8. Liderança em energia e design ambiental. 9. Construção sustentável - Projetos e construção - Normas. 10. Métodos de simulação. I. Assef, Amauri Amorin, orient. II. Moritz, Guilherme Luiz, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Energia. IV. Título.

CDD: Ed. 23 -- 621.31

Biblioteca Central do Câmpus Curitiba - UTFPR
Bibliotecária: Luiza Aquemi Matsumoto CRB-9/794

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO

A Dissertação de Mestrado intitulada “**Estudo da economia proveniente do controle inteligente de iluminação aplicando parâmetros da certificação LEED – Estudo de caso**”, defendida em sessão pública pelo candidato **Victor Hugo Evangelista Scarsi**, no dia 29 de novembro de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, área de concentração Automação e Sistemas de Energia, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Amauri Amorin Assef – Presidente – UTFPR

Prof. Dr. Marcos Santos Hara – IFPR

Prof. Dr. Jorge Assade Leludak – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 29 de novembro de 2019.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo o que Ele tem feito em minha vida e na minha família, por toda a provisão e direção.

Ao Prof. Dr. Amauri Amorin Assef, pela orientação, supervisão, amizade e principalmente por ter acreditado que este trabalho chegaria ao seu final para ser apresentado.

À minha família, na pessoa da minha esposa Isabela, meus pais Cleonice e Delir e minha sogra Célia por todo o apoio nesse processo e compreensão pela recorrente ausência para frequentar aulas, fazer trabalhos, estudar, pesquisar e desenvolver o presente projeto.

Aos companheiros de trabalho na empresa Kelius Automação por apoiarem o desenvolvimento desse estudo e por compreenderem minha ausência em horário comercial com frequente ajuda no dia a dia do trabalho.

Ao André Belloni, da empresa Petinelli, por todo auxílio com sua experiência e expertise no assunto abordado.

À FAE Business School por ter cedido o acesso ao edifício para realização de medições para que esse trabalho fosse viabilizado.

Ao Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz pela orientação e auxílio no projeto.

Agradeço à UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de estudar em uma instituição de renome e qualidade com ótimos profissionais.

RESUMO

SCARSI, Victor Hugo Evangelista. Estudo da Economia de Energia Proveniente do Controle Inteligente de Iluminação Aplicando Parâmetros da Certificação LEED - Estudo de Caso. 2019. 78 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia (PPGSE), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2019.

O Brasil está entre os países que mais investem em construções sustentáveis no mundo, apontado como o 4º país no ranking mundial. Com isso, os sistemas de automação inteligentes tornam-se grande aliados na busca por eficiência energética e sustentabilidade em empreendimentos, uma vez que são utilizados, por exemplo, para controle de iluminação e ar condicionado, que representam grande parte do consumo energético de um edifício. Existem diversas organizações que concedem certificações para construções sustentáveis, em seus vários níveis, comprovando os métodos e modelos pré-estabelecidos para tal, sendo o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) uma das principais certificações internacionais. Neste trabalho, são tomadas como base as premissas apontadas pela certificação LEED v4, seção de Energia e Atmosfera com tipologia O+M em Empreendimentos Existentes, no intuito de comprovar a necessidade e auxílio da automação para um ambiente inteligente e sustentável, evidenciando, em particular, estratégias de controle de iluminação. Realizou-se o estudo de caso de um edifício da faculdade FAE Business School, sediada na cidade de Curitiba, Paraná, que não possui certificação LEED, porém vem investindo em tecnologias de otimização inteligente para automação em um edifício com 20 salas de aula, entre outros, para garantir um melhor aproveitamento energético, além de conforto aos usuários. Ao aplicar os critérios abordados pela certificação LEED, utilizou-se a ferramenta Energy Star Portfolio Manager para obter os dados do edifício médio, que é adotada como referência para as comparações. Observou-se nos resultados do estudo que as salas de aula desse edifício consomem 72 % menos energia que os edifícios similares, muito por conta do sistema inteligente de controle de iluminação instalado no edifício. Concluiu-se que para receber a certificação LEED com pontuação mínima, o empreendimento estudado precisa cumprir uma série de melhorias e pré-requisitos. Com isso, verifica-se que é possível atingir entre 25 % e 90 % da pontuação LEED necessária para certificação, somente na tipologia avaliada por esse trabalho.

Palavra-Chave: Automação Predial. Automação Inteligente. Certificação LEED.

ABSTRACT

SCARSI, Victor Hugo Evangelista. Power Saving Study from Intelligent Lighting Control Applying LEED Certification Parameter – Case Study. 2019. 78 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia (PPGSE), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba. 2019.

Brazil is among the countries that invest the most in sustainable construction in the world, named as the 4th country in the world ranking. Thus, intelligent automation systems become great allies in the pursuit of energy efficiency and sustainability, as they are used, for example, for lighting and air conditioning control, which represent a large part of building's energy consumption. There are several organizations that award certifications for sustainable buildings at various levels, proving pre-established methods and models, where the LEED certification (Leadership in Energy and Environmental Design) is one of the main international. In the present study, the premises of the LEED certification, Energy and Atmosphere section with O+M typology in Existing Buildings, are taken as basis, in order to prove the need and aid of automation systems for an intelligent and sustainable environment, highlighting, in particular, strategies for lighting control. A case study of the FAE Business School's building, situated in Curitiba, Paraná, which is not LEED certified, but has been carried out and has been investing in intelligent optimization technologies for automation in a building with 20 classrooms, among others, to ensure a better use of energy and comfort to users. Applying LEED certification criteria, the Energy Star Portfolio Manager tool was used to obtain the average building data, which is adopted as a reference for comparisons. The results of the study show that the classrooms of this building consume 72 % less energy than similar buildings, due to the intelligent light control system installed in the building. It was concluded to achieve LEED certification with a minimum score, the studied building must fulfill a series of improvements and prerequisites. Thus, it's possible to achieve between 25 % and 90 % of the LEED score required for certification, only in the typology evaluated by this paper.

Keywords: Building Automation. Intelligent Automation. LEED Certification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pontuações LEED e suas classificações.	19
Figura 2 - Áreas analisadas pelo LEED.....	19
Figura 3 - Tipologias de certificações do LEED.	20
Figura 4 - Média de reduções no Brasil nos edifícios certificados LEED em 2014.....	22
Figura 5 - Registros e certificações LEED no Brasil.	22
Figura 6 - Registros de certificações por Estado da Federação no Brasil até o ano de 2014.	23
Figura 7 - Selo Procel Edificações	33
Figura 8 - Exemplo de etiqueta PBE Edifica.....	34
Figura 9 - Sistema básico DALI.	36
Figura 10 - Exemplos de comandos do iSimplex Server.....	37
Figura 11 - Sequência metodológica aplicada na pesquisa da certificação LEED no edifício da IES.	39
Figura 12 - Exemplo de sala de aula avaliada.	40
Figura 13 - Sensor de presença sem fios LRF2-OKLB-P-WH instalado na sala de aula.	41
Figura 14 - Item da esquerda: interruptor convencional (CA-1PS-WH). Item da direita: interruptor sem fios (PJ2-3BRL-GWH-L01).	41
Figura 15 - Sensor de luminosidade (LRF2-SSW-WH) instalado na janela atrás da cortina. ...	42
Figura 16 - Alicates wattímetro Minipa ET-4055A com 10 voltas do condutor no alicate.....	43
Figura 17 - Luminária desligada e sem acabamento.	43
Figura 18 - Conjunto de luminárias ligadas com acabamento.....	44
Figura 19 - Luminárias na sala de aula.....	44
Figura 20 - Cenário Sol.	46
Figura 21 - Cenário Dia.	46
Figura 22 - Cenário Noite.....	47
Figura 23 - Cenário Projeção.....	47
Figura 24 - Resultado médio dos níveis de iluminação (0 a 100 %) vs. consumo por luminária.	52
Figura 25 - Proporção da área pelo uso da IES.	54
Figura 26 - Uso de energia mensal no ano de 2018.....	55
Figura 27 - Propriedade não elegível para certificação ENERGY STAR.....	55
Figura 28 - Consumo com normalização do clima.....	56

Figura 29 - Representatividade do consumo energético das salas em relação ao consumo total.	63
Figura 30 - Representatividade do consumo energético das salas de aula da IES em relação às salas de aula do edifício referência.....	63
Figura 31 - Representatividade do consumo energético das luminárias das salas de aula da IES em relação ao consumo total do edifício referência. O segmento na cor laranja representa a economia energética da FAE em relação ao edifício referência.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de pontuação da certificação LEED v4 para O+M em empreendimentos existentes.	21
Tabela 2 - Classificação Energy Star e pontuação LEED.	28
Tabela 3 - Pontos para percentual de melhoria em relação à edifícios típicos no país.	28
Tabela 4 - Quantidade de luminárias e potência por sala da IES.	51
Tabela 5 - Níveis de iluminação (0 a 100 %) vs. consumo por luminária.....	52
Tabela 6 - Consumo de uma sala de aula com 23 luminárias em seus diversos cenários.	52
Tabela 7 - Economia de energia em cada cenário.	53
Tabela 8 - Potência de iluminação instalado por m ²	53
Tabela 9 - Comparação dos dados informados da FAE Business Schoool com o objetivo de 25 % de redução e edifício base.....	56
Tabela 10 - Classificação Energy Star e pontuação LEED.	59
Tabela 11 - Pontos para percentual de melhoria em relação à edifícios típicos no país.	60
Tabela 12 - Resultados da otimização do desempenho energético.	62
Tabela 13 - Resumo da pontuação LEED nos critérios mínimo e máximo de desempenho.....	66
Tabela 14 - Resumo da poupança energética.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
BAS	<i>Building Automation System</i>
BD	<i>Building Design</i>
BMS	<i>Building Management System</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>BRE Environmental Assessment Method</i>
C	<i>Construction</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
EA	<i>Energy and Atmosphere</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
FGV-EASP	Fundação Getulio Vargas - Escola de Administração de Empresas de São Paulo
GBC	Green Building Council
GVces	Centro de Estudos em Sustentabilidade
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
HVAC	<i>Heat, Ventilation, and Air-Conditioning</i>
ID	<i>Interior Design</i>
IES	Instituição de Ensino Superior
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	<i>Internet Protocol</i>
IST	Instituto Superior Técnico
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
M	<i>Maintenance</i>

N	<i>No</i>
ND	<i>Neighborhood</i>
O	<i>Operation</i>
PBE	Programa Brasileiro de Edificações
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residências
SBAI	Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
U.S.	<i>United States</i>
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Y	<i>Yes</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	18
2.1.1	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).....	18
2.1.2	AQUA.....	31
2.1.3	BREEAM (BRE Environmental Assessment Method).....	31
2.1.4	Green Star	32
2.1.5	PROCEL.....	32
2.2	SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL.....	34
2.2.1	Lutron Electronics	35
2.2.2	DALI (Digital Addressable Lighting Interface)	36
2.2.3	Servidor iSimplex Server	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR PARA O ESTUDO DE CASO	39
3.2	MEDIÇÕES DE CONSUMO ENERGÉTICO	42
3.3	ESTRATÉGIAS PROPOSTAS PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO	44
3.4	NORMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ASHRAE STANDARD 90.1.....	48
3.5	FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DA CERTIFICAÇÃO LEED V4.....	49
3.6	REPRESENTATIVIDADE DA ILUMINAÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL.....	50
4	RESULTADOS	51
4.1	CONSUMO ENERGÉTICO POR SALA DE AULA	51
4.2	PADRÃO DE REFERÊNCIA – CERTIFICAÇÃO LEED	53
4.3	AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PORTFOLIO MANAGER	54
4.4	ESTUDO DA APLICAÇÃO DA CERTIFICAÇÃO LEED V4.....	57
4.4.1	Avaliação do Pré-Requisito EA: Melhores Práticas de Gestão de Eficiência Energética	57

4.4.2	Avaliação do Pré-Requisito EA: Desempenho Mínimo de Energia.....	57
4.4.3	Avaliação do Pré-Requisito EA: Medição de Energia do Edifício	57
4.4.4	Avaliação do Pré-Requisito EA: Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes.....	58
4.4.5	Avaliação do Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente - Análise	58
4.4.6	Avaliação do Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente – Implementação.....	58
4.4.7	Avaliação do Crédito EA: Comissionamento Contínuo.....	59
4.4.8	Avaliação do Crédito EA: Otimizar Desempenho Energético	59
4.4.9	Avaliação do Crédito EA: Medição de Energia Avançada	64
4.4.10	Avaliação do Crédito EA: Resposta à Demanda	65
4.4.11	Avaliação do Crédito EA: Energia Renovável e Compensação de Carbono	65
4.4.12	Avaliação do Crédito EA: Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes	65
4.5	PONTUAÇÃO LEED	66
5	DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICE.....	76
	PUBLICAÇÃO REFERENTE AO TRABALHO DE MESTRADO.....	78

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os países que mais investem em construções sustentáveis no mundo, ocupando atualmente o 4º lugar na classificação de empreendimentos de construção civil que fazem aproveitamento eficiente de recursos naturais, como a luz solar, atrás apenas dos Estados Unidos da América (EUA), Emirados Árabes e China (OGATA, et al., 2014; RECH et al., 2018; PROCEL INFO, 2019). Conforme o relatório do Green Building Council (GBC)¹ do ano de 2019, a crescente adoção por práticas sustentáveis, traduzida em edifícios ambientalmente adequados e energeticamente eficientes, visa colaborar com a preservação de recursos naturais e evitar impactos ambientais significativos no Brasil e no mundo (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2019).

Nesse contexto, os sistemas de automação inteligentes tornam-se grande aliados na busca por eficiência energética e sustentabilidade em empreendimentos do setor, uma vez que são utilizados, por exemplo, para controle eficaz de iluminação e equipamentos de ar condicionado, que representam cerca de 75 % do consumo energético de um edifício, como demonstrado no relatório da *California Energy Commission* (ITRON, 2006). Assim, é de suma importância controlá-los e gerenciá-los no sentido da otimização energética do local, impactando na preservação do ambiente natural e, ao mesmo tempo, na melhoria de qualidade do bem-estar e saúde dos usuários, além de menor custo de operação e manutenção do edifício (FELIPPE et al., 2015; CAMPOS & FERRÃO, 2018).

Quando as ações de sustentabilidade relacionadas à redução de sólidos e resíduos gerados, otimização do consumo de materiais, preservação ambiental (recursos naturais), busca de alternativas para geração de eletricidade através de fontes limpas e renováveis são consideradas em uma construção sustentável, dentre outras estimuladas por arquitetos, construtores e empreendedores, tal empreendimento pode receber, mediante a contratação de um órgão certificador, a certificação de sustentabilidade, que representa um atestado e comprovante de uma postura ambientalmente correta (CAMPOS & FERRÃO, 2018; PASSOS & BRUNA, 2019; COSTA, 2019).

¹ O GBC é uma organização não governamental mundial sem fins lucrativos que visa fomentar a indústria de construção em um ambiente sustentável, por meio de sua atuação junto ao governo e à sociedade civil, capacitação técnica de profissionais, disseminação de informações, práticas e conhecimentos e promoção de processos de certificação (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018a).

Existem diversas organizações que concedem certificações para construções sustentáveis, em seus vários níveis, comprovando os métodos e modelos pré-estabelecidos para tal como, por exemplo, a organização não governamental norte americana United States Green Building Council (USGBC), que é responsável pela certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018a). Também, destacam-se outras certificações para a qualificação ambiental em edificações sustentáveis, como a inglesa *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), a australiana Green Star (KOVÁCS, 2013; KILIÇ & ALTUN, 2018) e o processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental), adaptado exclusivamente à realidade brasileira pela Fundação Vanzolini, a partir da certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*) (SILVA, 2013). Além da certificação AQUA-HQE, no Brasil há ainda o Selo Procel Edificações – exclusivo para critérios de consumo de energia (PROCEL INFO, 2019).

Entre as diversas certificações existentes que demonstram o quanto uma construção é sustentável, o LEED é o sistema de classificação de edifícios mais amplamente utilizado em todo o mundo e que vem aparecendo com destaque no Brasil nos últimos anos. Essa certificação descreve critérios e pré-requisitos de desempenho e engajamento para pontuação em diferentes categorias ambientais que demonstram o quanto um empreendimento está buscando colaborar com a redução do desperdício, preservação dos recursos naturais, procedimentos construtivos econômicos e eficiência energética, dentre outros aspectos, com o intuito de ser qualificado e atestado como sustentável (STEFANUTO & HENKES, 2012; CAMPOS & FERRÃO, 2018; PASSOS & BRUNA, 2019).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho apresenta como base as premissas apontadas pela certificação LEED, no intuito de compreender os critérios de avaliação e comprovar a necessidade e auxílio da automação para um ambiente inteligente e sustentável, evidenciando, em particular, estratégias de controle de iluminação em uma Instituição de Ensino Superior (IES). Propõe-se o estudo de caso para um empreendimento, como o prédio da faculdade FAE Business School, sediada na cidade de Curitiba, Paraná. A escolha por este edifício foi determinada pela maior facilidade e flexibilidade de acesso aos ambientes para o estudo, uma vez que o autor participou do projeto e implantação do sistema de automação no edifício no ano de

2015, facilitando a coleta de dados e especificações do sistema instalado. A FAE Business School não possui certificação LEED, porém vem investindo em tecnologias de otimização inteligente para automação em um edifício com salas de aula e salas de administração, para garantir um melhor aproveitamento energético, além de conforto aos usuários. Os estudos incluem a avaliação dos parâmetros da certificação LEED no edifício da faculdade de graduação e pós-graduação, incluindo 20 salas de aula, identificando os pontos nos quais podem ser aplicadas melhorias com relação ao consumo energético.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é realizar a avaliação da eficácia do sistema de controle de iluminação instalado nas salas de aula do edifício da faculdade FAE Business School, sediada na cidade de Curitiba, no que diz respeito à economia de recursos, principalmente energia elétrica. Para tanto, arbitrou-se a certificação LEED v4 no critério Energia e Atmosfera, dentro dos parâmetros definidos pela USGBC, como norma de qualificação ambiental em edificações para esta verificação e avaliação das alterações necessárias para certificação do edifício.

Apesar de existirem diversos sistemas de automação disponibilizados por diversos fabricantes, este tipo de sistema não se faz necessário para a obtenção da certificação LEED, uma vez que esta é obtida cumprindo os requisitos de funcionalidade e operação. Entretanto, este trabalho tem o intuito de avaliar, verificar e comprovar a eficácia de um sistema como esse, por meio de um estudo de caso.

Além do objetivo principal, este trabalho tem como objetivos específicos:

- 1) Avaliar a certificação LEED como uma ferramenta adequada para o estudo de redução de consumo energético;
- 2) Realizar a medição de potência instantânea do módulo de iluminação das salas de aula em diversos níveis de acionamento (dimerização), desde 0 % até 100 %, em passos de 5 %;
- 3) Estimar o consumo energético nas salas de aulas dos cenários de iluminação propostos para a redução de consumo, os quais serão descritos nos próximos capítulos;

- 4) Verificar o agendamento das salas de aula no ano de 2018 (365 dias) e monitorar os cenários de iluminação acionados durante este período a fim de estimar um padrão de consumo;
- 5) Comparar as estimativas de consumo entre a iluminação ativa em 100 % de sua capacidade (hipotético, sem automação) e os cenários reais ativados durante a utilização, para que haja um resultado estimado da poupança energética nessas salas;
- 6) Comparar os resultados de redução energética com os valores mínimos exigidos para a certificação LEED, a fim de estimar a pontuação alcançada com este recurso;
- 7) Sugerir melhorias na operação do edifício para alcançar melhores resultados em termos de eficiência energética e, conseqüentemente, na pontuação LEED.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 foram apresentados os aspectos gerais relacionados ao estudo de caso, bem como a motivação da pesquisa, destacando o objetivo geral e os específicos. No Capítulo 2, faz-se uma revisão da literatura sobre os principais conceitos relacionados às certificações para empreendimentos sustentáveis e tecnologias envolvidas no desenvolvimento da pesquisa. O Capítulo 3 descreve os materiais e métodos utilizados na pesquisa com foco na certificação LEED v4 para a IES, além dos critérios para a avaliação do perfil de consumo energético. No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, avaliando os parâmetros apontados pela certificação LEED v4 na seção de Energia e Atmosfera. O Capítulo 5 apresenta as discussões e conclusões obtidas com o trabalho. Logo após, são incluídas as referências bibliográficas que fundamentaram este trabalho e, por fim, o Apêndice resultante da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos relacionados às principais certificações para qualificação e atestado de empreendimentos sustentáveis, bem como os critérios e tipologias de desempenho e engajamento com foco principal na certificação LEED. Também é apresentado o referencial teórico sobre os principais componentes do sistema de automação da empresa Lutron Electronics, aplicados nas estratégias de redução de consumo energético do edifício avaliado.

2.1 EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

O título de construção civil sustentável, que representa, dentre vários fatores, que o empreendimento – edifícios, casas, museus, escolas, entre vários outros tipos de construções – é energeticamente eficiente, vem sendo aplicado em diversos países do mundo através dos processos de certificações, aplicados por organizações especializadas. Esse processo acarreta na economia de energia e operação do edifício, além de melhorar a vivência no espaço, aumentando o conforto dos utilizadores (KOVÁCS, 2013).

Alguns dos processos de certificação aplicados mundialmente serão citados a seguir. Todavia, utiliza-se o LEED como referência para análise de resultados deste trabalho.

2.1.1 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

A certificação LEED, desenvolvida em 2000 nos Estados Unidos da América (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018a), é utilizada em mais de 165 países (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018b) e possui escalas de pontuação variando de 0 a 100 pontos, com possibilidade de acrescentar 10 pontos em bônus (KOVÁCS, 2013).

Os edifícios com pontuação entre 40 e 49 pontos são denominados certificados (*Certified*); entre 50 e 59 pontos, nível prata (*Silver*); entre 60 e 79 pontos, nível ouro (*Gold*); e, por fim, acima de 80 pontos, nível platina (*Platinum*) (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2014), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Pontuações LEED e suas classificações.



Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).

A avaliação da certificação LEED abrange alguns critérios divididos em 8 áreas, ilustradas na Figura 2, das quais as principais são: localização e Transporte (*Location & Transportation*), Sustentabilidade (*Sustainable Sites*), Eficiência em Água (*Water Efficiency*), Energia e Atmosfera (*Energy & Atmosphere*), Materiais e Recursos (*Materials & Resources*) e Qualidade do Ambiente Interno (*Indoor Environmental Quality*) (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2014). Entre estes critérios, o presente trabalho tem como foco principal a obtenção de pontos (*checklist*) referentes à economia e desempenho energético, que estão relacionadas com a área de Energia e Atmosfera da certificação.

Figura 2 - Áreas analisadas pelo LEED.

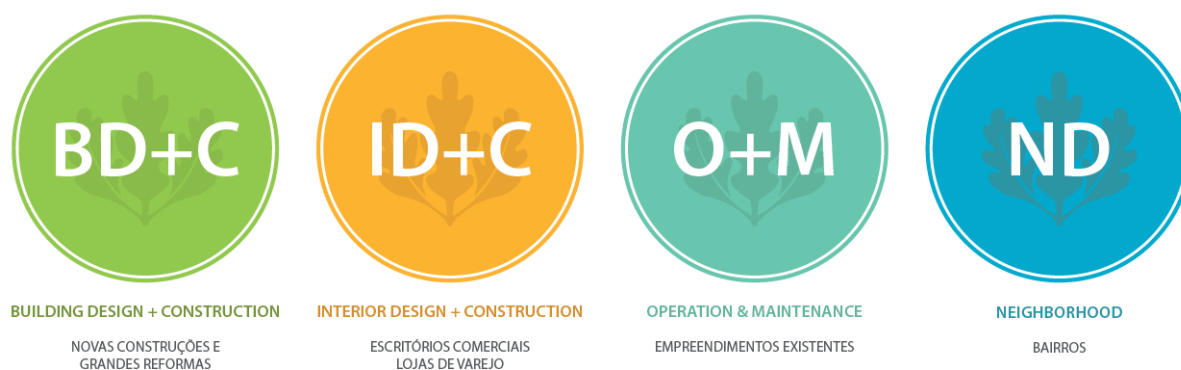


Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).

A certificação também é separada em quatro tipologias para que possa atender às diversas necessidades em cada empreendimento, mostradas na Figura 3. As tipologias são:

- BD+C (*Building Design + Construction*), aplicada para novas construções e grandes reformas;
- ID+C (*Interior Design + Construction*), aplicada em escritórios comerciais e lojas de varejo;
- O+M (*Operation & Maintenance*), aplicada em empreendimentos existentes;
- ND (*Neighborhood*), aplicada em bairros (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2014).

Figura 3 - Tipologias de certificações do LEED.



Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).

Especificamente, na categoria de operação e manutenção (O+M) de edificações existentes, foco desta pesquisa, a certificação LEED pode ser avaliada segundo os seguintes tipos de empreendimentos:

- LEED O+M: *Existing Buildings* (Edifícios Existentes);
- LEED O+M: *Schools* (Edifícios Existentes - Escolas);
- LEED O+M: *Retail* (Edifícios Existentes - Varejo);
- LEED O+M: *Data Centers* (Edifícios Existentes – Data Center);
- LEED O+M: *Hospitality* (Edifícios Existentes – Hospedagem);
- LEED O+M: *Warehouses and Distribution Centers* (Edifícios Existentes - Galpão e centro de distribuição).

As regras e exigências do LEED v4 que são aplicadas na categoria O+M, bem como nas demais, são disponibilizadas na própria página Web do U. S. Green Building Council (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c). Assim, como descrito anteriormente, os pontos

analisados são referentes à economia de energia elétrica e desempenho energético no âmbito do controle de iluminação. O *checklist* completo de pontuação adotado nesta tipologia e disponibilizado pelo órgão certificador USGBC é ilustrado na Tabela 1. Neste caso, é possível observar que a pontuação máxima do LEED v4 O+M em edifícios existentes na seção de Energia e Atmosfera é de 38 pontos. Além disso, são apresentados o atendimento aos pré-requisitos obrigatórios (Y - *Yes* ou N - *No*) e os créditos com respectiva pontuação avaliada para cada item.

Tabela 1 - Tabela de pontuação da certificação LEED v4 para O+M em empreendimentos existentes.

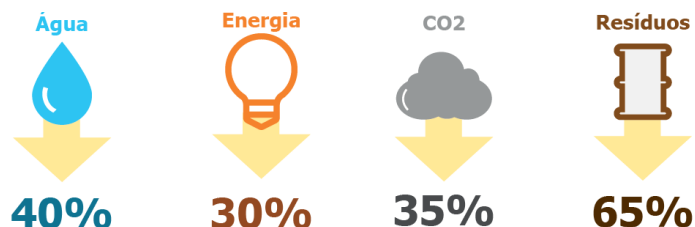
LEED v4 for Operations & Maintenance: Existing Buildings Project Checklist				Project Name: Date:			
Y	?	N		0	0	0	
0	0	0	Location and Transportation				15
0	0	0	Credit: Alternative Transportation				15
0	0	0	Sustainable Sites				10
Y			Prereq: Site Management Policy				Required
0	0	0	Credit: Site Development-Protect or Restore Habitat				2
0	0	0	Credit: Rainwater Management				3
0	0	0	Credit: Heat Island Reduction				2
0	0	0	Credit: Light Pollution Reduction				1
0	0	0	Credit: Site Management				1
0	0	0	Credit: Site Improvement Plan				1
0	0	0	Water Efficiency				12
Y			Prereq: Indoor Water Use Reduction				Required
Y			Prereq: Building-Level Water Metering				Required
0	0	0	Credit: Outdoor Water Use Reduction				2
0	0	0	Credit: Indoor Water Use Reduction				5
0	0	0	Credit: Cooling Tower Water Use				3
0	0	0	Credit: Water Metering				2
0	0	0	Energy and Atmosphere				38
Y			Prereq: Energy Efficiency Best Management Practices				Required
Y			Prereq: Minimum Energy Performance				Required
Y			Prereq: Building-Level Energy Metering				Required
Y			Prereq: Fundamental Refrigerant Management				Required
0	0	0	Credit: Existing Building Commissioning— Analysis				2
0	0	0	Credit: Existing Building Commissioning—Implementation				2
0	0	0	Credit: Ongoing Commissioning				3
0	0	0	Credit: Optimize Energy Performance				20
0	0	0	Credit: Advanced Energy Metering				2
0	0	0	Credit: Demand Response				3
0	0	0	Credit: Renewable Energy and Carbon Offsets				5
0	0	0	Credit: Enhanced Refrigerant Management				1
0	0	0	Materials and Resources				8
Y			Prereq: Ongoing Purchasing and Waste Policy				Required
Y			Prereq: Facility Maintenance and Renovations Policy				Required
0	0	0	Credit: Purchasing- Ongoing				1
0	0	0	Credit: Purchasing- Lamps				1
0	0	0	Credit: Purchasing- Facility Maintenance and Renovation				2
0	0	0	Credit: Solid Waste Management- Ongoing				2
0	0	0	Credit: Solid Waste Management- Facility Maintenance and Renovation				2
0	0	0	Indoor Environmental Quality				17
Y			Prereq: Minimum Indoor Air Quality Performance				Required
Y			Prereq: Environmental Tobacco Smoke Control				Required
Y			Prereq: Green Cleaning Policy				Required
0	0	0	Credit: Indoor Air Quality Management Program				2
0	0	0	Credit: Enhanced Indoor Air Quality Strategies				2
0	0	0	Credit: Thermal Comfort				1
0	0	0	Credit: Interior Lighting				2
0	0	0	Credit: Daylight and Quality Views				4
0	0	0	Credit: Green Cleaning- Custodial Effectiveness Assessment				1
0	0	0	Credit: Green Cleaning- Products and Materials				1
0	0	0	Credit: Green Cleaning- Equipment				1
0	0	0	Credit: Integrated Pest Management				2
0	0	0	Credit: Occupant Comfort Survey				1
0	0	0	Innovation				6
0	0	0	Credit: Innovation				5
0	0	0	Credit: LEED Accredited Professional				1
0	0	0	Regional Priority				4
0	0	0	Credit: Regional Priority: Specific Credit				1
0	0	0	Credit: Regional Priority: Specific Credit				1
0	0	0	Credit: Regional Priority: Specific Credit				1
0	0	0	Credit: Regional Priority: Specific Credit				1
0	0	0	TOTALS				Possible Points: 110
Certified: 40-49 points, Silver: 50-59 points, Gold: 60-79 points, Platinum: 80+ points							

Fonte: Adaptado de U. S. Green Building Council (2016).

A título de ilustração, a média de redução de recursos e desempenho dos edifícios certificados no ano de 2014 no Brasil é mostrada na Figura 4, na qual observa-se que houve uma redução média de 30 % em energia. Esses valores, bem como a preocupação com o meio ambiente e outros fatores, têm incentivado cada vez mais arquitetos, engenheiros e construtores a aplicarem a certificação LEED em seus edifícios. Isso é justificado pelo crescente aumento na quantidade de registros e certificações concluídas nos últimos anos,

como mostrado na Figura 5 (CAMPOS & FERRÃO, 2018; PASSOS & BRUNA, 2019; COSTA, 2019).

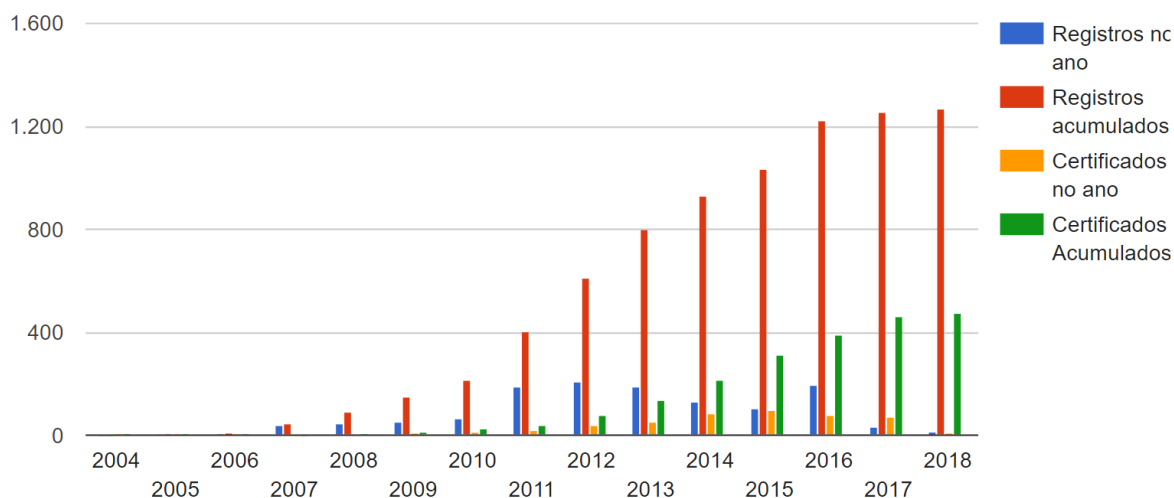
Figura 4 - Média de reduções no Brasil nos edifícios certificados LEED em 2014.



Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).

No gráfico da Figura 5, consolidado pelo GBC Brasil (Green Building Council Brasil) (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2018), é ilustrado um aumento significativo nas certificações, com 12 certificados até 2009, e somando 473 certificações até 2018. Conforme exemplificado, foram 149 projetos registrados até 2009, e até 2018 consolidaram-se 1270 registros. Isso significa que esses projetos estão em andamento para a certificação. Os valores de maior utilidade são mostrados nas barras verdes (soma de certificações) e vermelhas (soma de registros). Até 2011, houve apenas 40 certificações no país, porém somente em 2012, ocorreram 41 certificações, somando 81 certificações. Em 2017, houve 72 certificações. Esses dados demonstram o crescimento e a importância dessa certificação no Brasil.

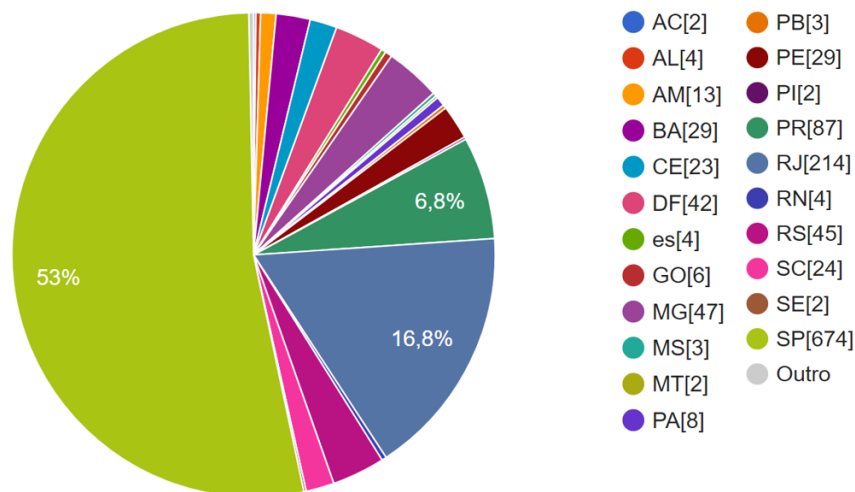
Figura 5 - Registros e certificações LEED no Brasil.



Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2018).

Adicionalmente, a Figura 6 ilustra que o Estado do Paraná é o terceiro com maior número de registros no país, com 87 projetos registrados até o ano de 2014, representando 6,8 %, atrás de São Paulo e Rio de Janeiro, que representam juntos 69,8 % dos registros.

Figura 6 - Registros de certificações por Estado da Federação no Brasil até o ano de 2014.



Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2018).

Apresentar-se-á brevemente e de forma aplicada a área EA (*Energy and Atmosphere*) da certificação LEED v4 O+M, que aborda edifícios já construídos, uma vez que a FAE Business School está em operação desde 2016. Ambas as etapas de pré-requisitos e créditos para obtenção da pontuação LEED nessa área são apresentados na Tabela 1.

2.1.1.1 Pré-Requisito EA: Melhores Práticas de Gestão de Eficiência Energética

Objetivo: Promover a continuidade de informações a fim de garantir que estratégias de operação eficientes em energia sejam mantidas e prover uma base de treinamentos e análises dos sistemas (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Para atender este pré-requisito da certificação é necessário conduzir uma auditoria de energia que atenda aos requisitos da análise de uso de energia contidos na norma *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Além disso, o edifício precisa ter um plano atualizado de requisitos, operações e manutenção de instalações abordando os seguintes itens:

- Uma sequência atual de operações do edifício;

- A programação de ocupação do edifício;
- Programações de tempo de funcionamento de equipamentos;
- Pontos de ajuste de todos os equipamentos *Heat, Ventilation, and Air-Conditioning* (HVAC);
- Pontos de ajuste para níveis de iluminação em todo o edifício;
- Requisitos mínimos de ar externo;
- Quaisquer alterações em programações ou pontos de ajuste para diferentes estações, dias da semana e horas do dia;
- Um relato dos sistemas que descreva os sistemas e equipamentos mecânicos e elétricos no edifício; e
- Um plano de manutenção preventiva para os equipamentos do edifício descritos no relato dos sistemas.

2.1.1.2 Pré-Requisito EA: Desempenho Mínimo de Energia

Objetivo: Reduzir os danos ambientais e econômicos associados ao uso excessivo de energia estabelecendo um nível mínimo de desempenho de energia em operação (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Para este pré-requisito é preciso ter um medidor de energia operacional no edifício e realizar a medição de energia por um período de 12 meses de operação contínua (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.3 Pré-Requisito EA: Medição de Energia do Edifício

Objetivo: Apoiar a gestão de energia e identificar oportunidades de economias adicionais de energia rastreando o uso de energia no nível do edifício (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Este pré-requisito pode ser atendido através do histórico das faturas de energia elétrica e de água que o edifício possui através dos medidores instalados pelos órgãos responsáveis.

2.1.1.4 Pré-Requisito EA: Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes

Objetivo: Reduzir o esgotamento do ozônio estratosférico (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Por se tratar de um pré-requisito específico sobre o sistema de ar condicionado instalado no edifício, este item não será abordado nesse trabalho.

2.1.1.5 Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente - Análise

Objetivo: Usar o processo de comissionamento do edifício existente para melhorar as operações do edifício, a energia e a eficiência de recursos (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 2 pontos.

Para obtenção desses créditos é preciso desenvolver um plano de comissionamento para o edifício existente, no qual este deve incluir os seguintes itens (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c):

- Requisitos atualizados das instalações atuais;
- Os membros da equipe de comissionamento e suas funções e responsabilidades durante o processo de comissionamento;
- Uma descrição da abordagem para identificar e analisar as oportunidades de melhoria da instalação;
- O processo para revisar e priorizar as oportunidades identificadas com o proprietário e desenvolver um plano de implementação;
- O formato e conteúdo dos eventuais resultados do processo de comissionamento; e a programação proposta.

Este plano de comissionamento deve considerar os diversos sistemas instalados no edifício, apresentando também uma discriminação do uso estimado de recursos (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.6 Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente – Implementação

Objetivo: Usar o processo de comissionamento do edifício existente para melhorar as operações do edifício, a energia e a eficiência de recursos (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 2 pontos.

Cumprindo o plano desenvolvido no item anterior, estabelece-se este crédito. Além disso, é necessário implementar melhorias de baixo custo ou sem custo, desenvolver um plano de cinco anos para substituição de equipamentos e grandes modificações ou atualizações. Deve-se confirmar o treinamento dos funcionários responsáveis pela e operação do edifício, desenvolver um programa de monitoramento e verificação de todos os sistemas, observando a eficácia, custo benefício financeiro e ambiental, conforto, saúde, e ainda atualizar o plano de operações e manutenção sempre visando melhorias (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.7 Crédito EA: Comissionamento Contínuo

Objetivo: Usar o processo de comissionamento do edifício existente para melhorar as operações do edifício, a energia e a eficiência de recursos (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 3 pontos.

Deve-se cumprir os requisitos de análise e implementação do comissionamento do edifício existente, descritos anteriormente. Estabelecer um processo de comissionamento contínuo que inclua planejamento, monitoramento, testes, verificação de desempenho, resposta de ação corretiva, medição contínua e documentação para abordar de maneira ativa os problemas operacionais nos sistemas comissionados (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

O plano de comissionamento deve definir os itens:

- Funções e responsabilidades;
- Requisitos de medição (medidores, pontos, sistemas de medição, acesso a dados);
- Os pontos a serem rastreados, com frequência e duração do monitoramento de tendências;

- Os limites dos valores aceitáveis para pontos monitorados e valores medidos;
- O processo de revisão que será usado para avaliar o desempenho;
- Um plano de ação para identificar e corrigir erros e deficiências operacionais;
- Planejamento para reparos necessários a fim de manter o desempenho;
- A frequência de análises no primeiro ano (pelo menos trimestralmente); e
- O ciclo de análise subsequente (pelo menos a cada 24 meses).

Em todos os sistemas comissionados e em todo o processo de operação e manutenção do edifício devem-se atualizar o manual dos sistemas com quaisquer modificações em relação ao projeto original, informando o motivo de tal alteração ou ajuste. Necessário realizar relatórios trimestrais durante o primeiro ano de implementação e relatórios anuais de desempenho dos sistemas. O progresso desse comissionamento contínuo deve ser mostrado com relatórios de dois anos após inscrição no LEED (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.8 Crédito EA: Otimizar Desempenho Energético

Objetivo: Reduzir os danos ambientais e econômicos associados ao uso excessivo de energia alcançando níveis mais altos de desempenho de energia em operação. (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 1 a 20 pontos.

A primeira forma de verificar a pontuação obtida seria obter a classificação Energy Star. Com uma classificação entre 76 e 95 pontos, obtém-se de 3 a 20 pontos na certificação LEED, conforme mostrado na Tabela 2 (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Se o projeto não for elegível para receber a classificação Energy Star, deve-se observar outra alternativa de pontuação, que é comparar o desempenho da eficiência energética com a mediana nacional fornecida pela ferramenta Portfolio Manager. O resultado dessa comparação deve demonstrar um desempenho pelo menos 26 % melhor. A pontuação é dada segundo a Tabela 3 (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Tabela 2 - Classificação Energy Star e pontuação LEED.

Classificação Energy Star	Pontos LEED
76	3
77	4
78	5
79	6
80	7
81	8
82	9
83	10
84	11
85	12
86	13
87	14
88	15
89	16
90	17
91	18
93	19
95	20

Fonte: Adaptado de U. S. Green Building Council (2018c).

Tabela 3 - Pontos para percentual de melhoria em relação à edifícios típicos no país.

Percentual de melhoria	Pontos LEED
26	1
27	2
28	3
29	4
30	5
31	6
32	7
33	8
34	9
35	10
36	11
37	12
38	13
39	14
40	15
41	16
42	17
43	18
44	19
45	20

Fonte: Adaptado de U. S. Green Building Council (2018c).

2.1.1.9 Crédito EA: Medição de Energia Avançada

Objetivo: Apoiar a gestão de energia e identificar oportunidades de economias adicionais de energia rastreando o uso no edifício e nos sistemas (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 2 pontos.

Para obter esse crédito, é necessário realizar a instalação de medidores de energia aplicados nas fontes de energia e nos consumos que representam 20 % ou mais do consumo anual total do edifício (excluindo carga de tomadas) (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Essa medição avançada de energia deve possuir as seguintes características:

- Os medidores devem ser instalados de forma permanente, registrar em intervalos de uma hora ou menos e transmitir dados para um local remoto;
- Medidores de eletricidade devem registrar o consumo e a demanda. Medidores de eletricidade de todo o edifício devem registrar o fator de potência, se adequado;
- O sistema de coleta de dados deve usar uma rede local, sistema de automação predial, rede sem fio ou infraestrutura de comunicação comparável;
- O sistema deve ser capaz de armazenar todos os dados de medição por pelo menos 36 meses;
- Deve ser possível acessar os dados remotamente;
- Todos os medidores no sistema devem ser capazes de gerar relatórios horários, diários, mensais e anuais do uso de energia.

Após a instalação, deve-se programar o sistema de gestão de energia para acionar um alarme quando o consumo de energia e a demanda de pico ultrapassar o valor previsto em mais de 5 %. O consumo e pico previsto deve ser resultado de uma análise do desempenho histórico da instalação e condições climáticas e operacionais, definidos no mínimo mensalmente, ou diariamente, se possível (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Mensalmente, no mínimo, é necessário registrar a demanda de pico de serviços públicos e o consumo total da instalação comparando com os registros do mês anterior e o mesmo mês no ano anterior (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.10 Crédito EA: Resposta à Demanda

Objetivo: Aumentar a participação em tecnologias e programas de resposta à demanda que tornem sistemas de geração e distribuição de energia mais eficientes, aumentar a confiabilidade da rede de energia elétrica e reduzir as emissões de gases do efeito estufa (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 1 a 3 pontos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da resolução normativa nº 792 de 28 de novembro de 2017, iniciou um programa piloto para implementação de um programa de resposta à demanda em indústrias selecionadas. Entretanto, não há notícias de que haja uma aplicação comercial.

Assim sendo, existe uma segunda opção, que é aplicada quando não há um programa de resposta à demanda disponível. Essa opção contribui com 1 ponto na certificação LEED e consiste em implementar uma infraestrutura para tirar vantagens de programas futuros de resposta à demanda. Além disso, é necessário desenvolver um plano para reduzir pelo menos 10 % da demanda de eletricidade do pico anual. Ainda, é preciso incluir processos de resposta à demanda nos requisitos atuais da instalação e no plano de manutenção e operação; realizar pelo menos um teste completo no plano de resposta à demanda e contatar representantes de serviços públicos locais para discutir a participação futura em programas como esse (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

A terceira opção consiste em uma mudança permanente de carga. Essa opção contribui com 2 pontos na certificação LEED. Para tanto, é necessário cumprir alguns requisitos, como implementar um sistema que transfira permanentemente a demanda de eletricidade do horário de pico para o horário fora de pico. Além disso, é necessário demonstrar que a instalação está reduzindo de forma bem-sucedida a demanda de pico em 10 %, além de um plano de operação e manutenção (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.11 Crédito EA: Energia Renovável e Compensação de Carbono

Objetivo: Incentivar a redução de emissões de gases do efeito estufa com o uso de fontes locais e provenientes da rede de energia, tecnologias de energia renovável e projetos de mitigação de carbono (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 1 a 5 pontos.

Esta seção consiste em atender totalmente ou uma parte de toda a energia consumida no edifício diretamente com sistemas de energia renovável, ou participar de programas de compensações de carbono (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

2.1.1.12 Crédito EA: Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes

Objetivo: Reduzir a destruição da camada de ozônio e promover conformidade antecipada com o Protocolo de Montreal minimizando ao mesmo tempo as contribuições diretas para a mudança climática (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Créditos: 1 ponto.

Por se tratar de um crédito específico das características do sistema de ar condicionado, este item não será abordado no trabalho.

2.1.2 AQUA

O processo AQUA-HQE é uma certificação internacional desenvolvida a partir da certificação francesa *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)*, que no Brasil é aplicada pela Fundação Vanzolini. Este processo é aplicado desde 2008, e possui uma proposta que leva em consideração a cultura, clima, normas técnicas e a regulamentação presentes no Brasil, todavia sempre mantendo a base conceitual francesa (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2015a).

Para esta certificação, deve-se adotar um sistema de gestão específico para o empreendimento, pois o empreendedor deve realizar avaliações de qualidade ambiental do edifício em pelo menos três fases: pré-projeto, projeto e execução. A avaliação é feita para cada uma das 14 categorias de preocupação ambiental, obtendo as classificações com níveis Base, Boas Práticas ou Melhores Práticas, conforme o perfil ambiental definido na fase de pré-projeto. Para o empreendimento ser certificado, o empreendedor deve alcançar no mínimo um perfil de desempenho com 3 categorias no nível Melhores Práticas, 4 categorias no nível Boas Práticas e 7 categorias no nível Base (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2015b).

2.1.3 BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

A certificação BREEAM foi desenvolvida na Inglaterra em 1990, e mais tarde, em 2008 foi melhorada para a *BREEM International Europe*. Os níveis de certificação são: aprovado (*Pass*); bom (*Good*); muito bom (*Very Good*); e o excelente (*Outstanding*). Esses níveis são baseados em 5 categorias: gerenciamento (MAN - *management*); saúde (HEA -

health); energia (ENE - *energy*); água (WAT - *water*) e desperdício (WST - *waste*) (KOVÁCS, 2013; AWADH, 2017).

A certificação é enfatizada às categorias saúde e energia. Entretanto, o fim da obra não significa que o processo de certificação está concluído; ela também engloba a manutenção e operação do edifício analisado (KOVÁCS, 2013).

2.1.4 Green Star

A certificação Green Star foi desenvolvida em 2003 pela GBCA (*Green Building Council Australia*). Seu objetivo é oferecer uma forma de avaliação do desenvolvimento sustentável, construção e operação de edifícios (KOVÁCS, 2013). O processo de certificação pode atingir até 142 pontos, divididos em 9 categorias: manutenção (*management*); qualidade do ambiente interno (*indoor environment quality* - IEQ); energia (*energy*), transporte (*transport*), água (*water*), materiais (*materials*), ecologia e uso da terra (*land use and ecology*), emissões (*emissions*) e inovação (*innovation*) (ILLANKOON et al., 2018).

As categorias de reconhecimento são divididas em seis grupos: Melhor Prática (*Best Practice*) - 4 estrelas (45-59 pontos); Excelência Australiana (*Australian Excellence*) - 5 estrelas (60-74 pontos); Liderança Mundial (*World Leadership*) - 6 estrelas (mais que 75 pontos). As categorias mais baixas não podem ser alcançadas, porque essas classes representam construções não eficientes, sendo estas: Mínimo (*Minimum*) - 1 estrela; Mediano (*Average*) - 2 estrelas; Boas Práticas (*Good Practice*) - 3 estrelas (KOVÁCS, 2013).

2.1.5 PROCEL

O PROCEL foi criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia da Indústria e do Comércio, e era gerido pela empresa brasileira Eletrobrás. O nome PROCEL significa: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Em 1991, passou a ser um programa governamental, ampliando a sua abordagem nacional (NETO, 2018).

O Selo Procel Edificações está atuando desde 2014 e tem a finalidade de identificar as edificações com bom desempenho energético. Para conseguir o selo (Figura 7), recomenda-se que a edificação seja projetada de forma a alcançar os objetivos na certificação em todas as etapas, para que o consumo energético seja reduzido consideravelmente, chegando a 50 % de economia (NETO, 2018).

Figura 7 - Selo Procel Edificações



Fonte: Adaptado de Procel Info (2006).

A avaliação do Procel é realizada de acordo com as regras do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica, que está relacionada com 3 categorias de edifícios: edificações comerciais, edificações de serviços e públicas, e edificações residenciais. Os regulamentos seguidos são o Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais (RTQ-C). Além desses, segue-se o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residências (RTQ-R) (ALBUQUERQUE & AMORIM, 2012; NETO, 2018; PROCEL INFO, 2019).

Um edifício é reconhecido com a Etiqueta PBE Edifica (Figura 8) quando for aprovado pelo órgão brasileiro Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), após comprovação do seguimento das normas e procedimentos pré-estabelecidos. A etiquetagem varia de A a E, de acordo com o desempenho obtido. Essa medição de eficiência energética pode ser realizada no projeto ou com a edificação construída (NETO, 2018; PROCEL INFO, 2019). Desde 2014, esta etiquetagem é obrigatória para edificações públicas federais. Essa regra se aplica nos projetos e construções de edificações com área superior a 500 m², novas ou que recebam qualquer reforma que altere seus sistemas de iluminação, ar condicionado ou envoltória. Adicionalmente, essa medida passou a vigorar após a publicação da Instrução Normativa Nº 2, de 4 de Junho de 2014 no Diário Oficial da União.

Por sua vez, o Selo Procel Edificações é avaliado pela Eletrobrás, podendo ser verificado e concedido tanto em fase de projeto quanto com a edificação construída. O processo de etiquetagem faz uma avaliação do projeto e também do edifício construído, com a emissão de 2 etiquetas. Por serem duas etapas, o INMETRO avalia o projeto, e o prazo de conclusão da obra não pode ultrapassar 5 anos para a emissão da segunda etiqueta, pois a segunda medição é realizada com a obra finalizada para confirmar a eficiência energética descrita no projeto (NETO, 2018).

Figura 8 - Exemplo de etiqueta PBE Edifica.



Fonte: Procel Info (2006).

2.2 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Os atuais sistemas de automação predial, também conhecidos como BAS (*Building Automation System*) ou BMS (*Building Management System*), controlam e monitoram funções distribuídas em uma rede com nós instalados no edifício. Essas funções operam sistemas para controle de temperatura do ambiente, chamado de HVAC, sistemas de controle de iluminação, sistemas de controle de acessos, entre outros. Com a aplicação desses controles em um edifício, é possível aumentar o conforto dos utilizadores, bem como aumentar a eficiência energética (OZADOWICZ & GRELA, 2017). A seguir são descritos

os equipamentos do sistema de automação da empresa Lutron Electronics, que foram instalados pela empresa contratada pela FAE na época da obra e considerados durante a avaliação metodológica deste trabalho.

2.2.1 Lutron Electronics

A empresa norte americana Lutron Electronics foi incorporada em 1961 por Joel Spira, que criou o dimmer (variação de intensidade luminosa) comandado por um tiristor. A partir dessa ideia inovadora possibilitou-se controlar a intensidade luminosa sem desperdiçar energia em forma de calor, como nos dimmers comuns da época. O dimmer a tiristor interrompe o fluxo de energia, o que o torna uma solução energeticamente mais eficiente que o dimmer com reostato (LUTRON ELECTRONICS, 2018a).

2.2.1.1 Lutron HomeWorks QS

O sistema HomeWorks QS da Lutron oferece a possibilidade de uma solução com arquitetura mista, com e/ou sem fios, pois possui um sistema de comunicação sem fios chamado Clear Connect (LUTRON ELECTRONICS, 2017). Esse sistema possui equipamentos controladores de iluminação, cortinas motorizadas, termostatos, plugs de tomada, sensores de presença, sensores de luminosidade, *software* de programação e teclados de controle (LUTRON ELECTRONICS, 2018b). Além disso, o sistema pode ser integrado com sistemas terceiros via interfaces de contato seco, ou por *Internet Protocol* (IP) via protocolo Telnet. Para informações sobre os limites do sistema, o fabricante disponibiliza o documento 369821 (LUTRON ELECTRONICS, 2019).

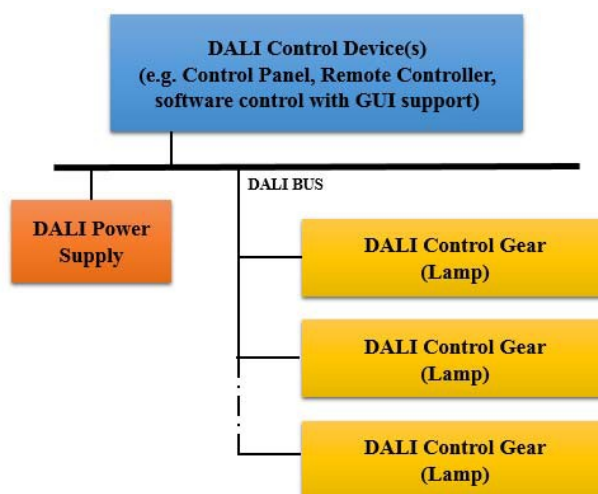
Na parte de comunicação sem fios da Lutron, estão inclusos os controles Pico, que são totalmente sem fios e podem controlar iluminação, cortinas e até sistemas de áudio compatíveis com o sistema Lutron (LUTRON ELECTRONICS, 2018c). Outros equipamentos interessantes são os sensores de presença, luminosidade e temperatura, que como o Pico, são totalmente sem fios.

2.2.2 DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

Existem várias formas para controlar luminárias automatizadas, nas quais estas recebem comandos/sinais de um controlador, que usualmente podem ser de forma analógica, como o sinal 0-10 V, ou digital como o protocolo DALI e a tecnologia IP. O DALI é um protocolo aberto e padrão para controle de iluminação que descreve vários requisitos para o controle, e também para dispositivos e componentes no sistema (ARCHANA et al., 2017).

Um sistema DALI simples pode ser representado por uma fonte de alimentação de 16 V em corrente contínua (CC), um sistema de controle e reatores/*drivers* compatíveis com o sistema DALI, conforme ilustrado na Figura 9, no qual o quadro alaranjado representa a fonte de alimentação, o quadro azul representa o sistema de controle, que pode ser um painel, um controle remoto, um *software*, entre outros. Os quadros amarelos são os reatores/*drivers* conectados às lâmpadas. Sensores de presença e luminosidade são alguns dos componentes auxiliares que podem ser acrescentados na plataforma (ARCHANA et al., 2017).

Figura 9 - Sistema básico DALI.



Fonte: Adaptado de Archana et al. (2017).

Os *Drivers* e/ou reatores DALI, além dos controles, são limitados em 64 endereços em cada rede DALI. Cada componente possui um endereço único e distinto na rede. Em grandes instalações, podem ser criadas várias redes DALI. Tais módulos são capazes de receber comandos pela rede DALI e respondê-los com seu estado em uma comunicação digital de mão dupla (ARCHANA et al., 2017). Em sistemas de controle predial (BAS ou

BMS), o DALI pode ser utilizado com o auxílio de conversores de protocolo (*gateway*) para integração.

2.2.2.1 Lutron EcoSystem®

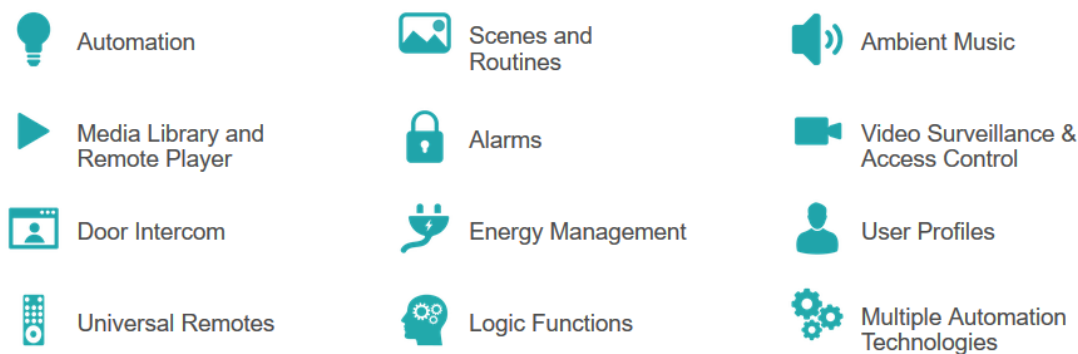
A tecnologia EcoSystem® da Lutron é um método de controle que utiliza o endereçamento individual de cada *driver*, com o recebimento do estado (*feedback*) dos *drivers* (LUTRON ELECTRONICS, 2018d). Na prática, a arquitetura de ligação dos *drivers* EcoSystem® é muito parecida com a arquitetura DALI, uma vez que utiliza o mesmo cabeamento e suporta até 64 endereços em cada rede.

Como a Lutron possui uma solução com sensores de presença, sensores de luminosidade e interruptores sem fios, isso torna o EcoSystem® um sistema flexível e com várias aplicabilidades (LUTRON ELECTRONICS, 2018d).

2.2.3 Servidor iSimplex Server

O *software* servidor iSimplex Server foi criado em 2008 pela empresa europeia iSimplex, fundada no Instituto Superior Técnico (IST), em Portugal (ISIMPLEX, 2018a). Esse servidor provê uma interface de comunicação acessada por navegadores de internet (*Web Browser*), no qual é possível integrar e comandar diversas tecnologias em uma única interface, além de interagir entre elas, conforme ilustrado no exemplo da Figura 10. Com o servidor é possível programar cenários, rotinas e funções lógicas (ISIMPLEX, 2018b).

Figura 10 - Exemplos de comandos do iSimplex Server.



Fonte: Adaptado de iSimplex (2018b).

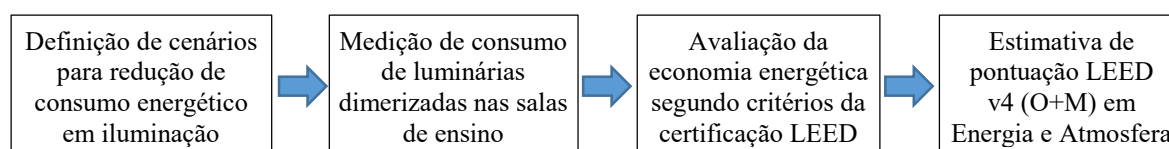
Após o embasamento teórico sobre os principais conceitos de empreendimentos sustentáveis e componentes necessários ao sistema de automação para controle eficaz de recursos, são apresentados a seguir os materiais e métodos empregados nesta pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos empregados durante o desenvolvimento da pesquisa de avaliação da IES para certificação LEED v4, adotando critérios de desempenho energético prescritos em norma de eficiência energética qualificada. Os estudos iniciais desta pesquisa foram apresentados no XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2017), realizado em Alegre Porto (RS) entre os dias 1 e 4 de outubro de 2017 (SCARSI et al., 2017).

Na Figura 11 é apresentada a sequência metodológica proposta neste trabalho.

Figura 11 - Sequência metodológica aplicada na pesquisa da certificação LEED no edifício da IES.



Fonte: Autoria própria.

3.1 INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR PARA O ESTUDO DE CASO

Este estudo para verificação de pontuação referente à certificação LEED v4 na área de Energia e Atmosfera foi baseado no edifício da faculdade FAE Business School, que é o segmento de pós-graduação da IES FAE Centro Universitário, sediada na Avenida Visconde de Guarapuava, número 3263, bairro Centro, cidade Curitiba, Paraná, CEP 80010-100. O edifício da FAE Business School possui 10 andares de torre e 5 andares de estacionamento no subsolo. Ao todo são 20 salas de aula, objetos deste trabalho, além de salas de estudos, biblioteca, salas de trabalho, salas de reuniões, banheiros e vários outros ambientes que estão integrados ao sistema de automação, mas que não serão abordados na pesquisa. Cada sala de aula possui um número específico, porém ao longo do trabalho as salas são numeradas de 1 a 20 de forma arbitrária. Na Figura 12 é apresentada a foto de uma das salas de aula da IES.

Para o controle de iluminação em ambientes como salas de aula, é importante conhecer os valores mínimos de luminosidade necessários para este tipo de ambiente. Tais valores variam entre 200 e 500 lux, segundo previsto na norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). Com isso, os

métodos aplicados de aproveitamento de luz natural e controle de intensidade luminosa devem garantir como requisitos estes valores mínimos em toda a sala de aula.

Figura 12 - Exemplo de sala de aula avaliada.



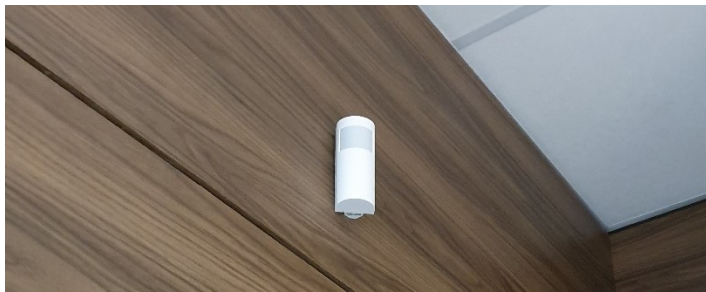
Fonte: Autoria própria.

Os equipamentos utilizados na solução implementada para o controle de iluminação são da empresa Lutron Electronics, sistema HomeWorks QS, que trabalha em conjunto com o sistema servidor de controle do edifício, o iSimplex Server. O propósito principal do projeto instalado foi diminuir o controle manual de iluminação e do ar condicionado do edifício, através da automação. Com isso, pressupõe-se um maior conforto para os colaboradores e estudantes, bem como aumentar a eficiência energética (PARISE et al., 2015).

A primeira medida adotada para economia de recursos começou na fase da construção do edifício, utilizando sensores de presença (Figura 13), interruptores (Figura 14) e sensores de luz natural sem fios (Figura 15), que proporcionaram economia em eletrodutos, cabos e instalação. Estes equipamentos sem fios operam com uma bateria interna não recarregável e emitem um sinal luminoso quando estão chegando perto do fim de sua vida útil. Além disso, para iluminação das salas de aulas e salas de reuniões, adotou-se a tecnologia EcoSystem da Lutron, que é uma versão proprietária do protocolo DALI, responsável pelo controle de variação de intensidade luminosa das lâmpadas (dimerização). Como a contratação do serviço de automação foi após a concepção do projeto inicial, o

emprego dos equipamentos sem fios proporcionou que não houvesse grande retrabalho e impacto no andamento da obra (construção do edifício).

Figura 13 - Sensor de presença sem fios LRF2-OKLB-P-WH instalado na sala de aula.



Fonte: Autoria própria.

Para o controle e a supervisão do edifício, utilizou-se o sistema iSimplex Server, através do qual é possível visualizar o edifício separado por andares e ambientes. Dentro de cada ambiente são mostrados os controles disponíveis, sendo estes: luzes, verificação de presença, ar condicionado e projetor multimídia. Ainda, criou-se no *software* um pavimento especial com ambientes para mostrar os objetos comuns, todos em uma única tela, proporcionando controlar toda a iluminação do edifício, a verificação de presença de forma rápida e fácil em todos os ambientes e, por fim, todos os equipamentos de ar condicionado. Dessa maneira, com todos os sistemas integrados, possibilitou-se controlar o edifício de forma centralizada e programar ações automáticas, conforme discutido por Martirano (2011).

Figura 14 - Item da esquerda: interruptor convencional (CA-1PS-WH). Item da direita: interruptor sem fios (PJ2-3BRL-GWH-L01).



Fonte: Autoria própria.

Apesar de não ser o escopo deste trabalho, o sistema de ar condicionado oferece integração via rede de informática (IP – *Internet Protocol*) pelo protocolo Modbus, no qual, através da interface do sistema, é possível ligar e desligar, alterar a temperatura, configurar o modo de operação e velocidade do ventilador para cada ambiente individualmente. Os projetores multimídia também são ligados à rede de informática do edifício e controlados individualmente via IP, através do protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) integrado ao sistema, com o controle pela interface do estado liga, desliga e fonte de vídeo. Atrrelado ao projetor está o controle da tela de projeção que desce e sobe automaticamente quando o projetor está ligado ou desligado, respectivamente.

Figura 15 - Sensor de luminosidade (LRF2-SSW-WH) instalado na janela atrás da cortina.



Fonte: Autoria própria.

3.2 MEDIÇÕES DE CONSUMO ENERGÉTICO

Para a medição de consumo nas luminárias dimerizadas, utilizou-se um alicate wattímetro True RMS para medida de corrente alternada (CA) da marca Minipa, modelo ET-4055A. Por se tratar de uma medição de relativamente baixa quando comparada à capacidade do multímetro, um fio condutor foi enrolado por 10 vezes ao redor do alicate para que fosse possível uma medição mais precisa. Os cálculos e também a visualização instantânea no visor do equipamento de medida fica mais fácil e intuitiva com essa quantidade de enrolamentos. O equipamento com o condutor enrolado é mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Alicate wattímetro Minipa ET-4055A com 10 volts do condutor no alicate.



Fonte: Autoria própria.

As luminárias das salas de aula possuem dois reatores Lutron EcoSystem H10-Series, modelo EHDT513ME2RW-B, e quatro lâmpadas fluorescentes (tubo de 16 mm de diâmetro), modelo Philips Master TL5 HE Eco 13=14W/840 UNP/40, código 872790088083000, com potência máxima de aproximadamente 13 W por lâmpada. Cada reator aciona duas lâmpadas, sendo este arranjo mostrado na Figura 17, representado a luminária sem seu acabamento. A luminária com acabamento é mostrada em detalhe na Figura 18 e uma foto da sala de aula com várias luminárias na Figura 19.

Figura 17 - Luminária desligada e sem acabamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Conjunto de luminárias ligadas com acabamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Luminárias na sala de aula.



Fonte: Autoria Própria

Como descrito anteriormente, as medições foram feitas em um único reator por vez, e os dados brutos das medições encontram-se no Apêndice. Essas medições iniciaram com o reator desligado (0 %) e as medidas foram feitas com passo de 5 % até chegar a 100 %.

3.3 ESTRATÉGIAS PROPOSTAS PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

Uma das estratégias para controle de iluminação é a variação da intensidade luminosa de acordo com a luz natural disponível na sala de aula (PARISE et al., 2015). Neste trabalho, o sistema de automação possibilita que ao entrar na sala de aula e acionar a

iluminação artificial, seja realizada a leitura do sensor de luz natural sem fios que está fixado em dos vidros da janela da sala. Dessa forma, a iluminação é ajustada de acordo com quatro cenários pré-definidos: Sol, Dia, Noite e Projeção. Estes cenários foram programados individualmente para cada sala de aula, de acordo com medições de um luxímetro digital posicionado sobre as mesas abaixo das luminárias instaladas, conforme a norma da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, a fim de garantir a quantia ideal de luminosidade no ambiente. Os níveis de iluminação foram medidos pela empresa instaladora do sistema, garantindo um índice entre 400 lux e 500 lux.

A seguir serão apresentados os cenários de iluminação programados no edifício pela empresa que realizou a instalação do sistema na época da obra.

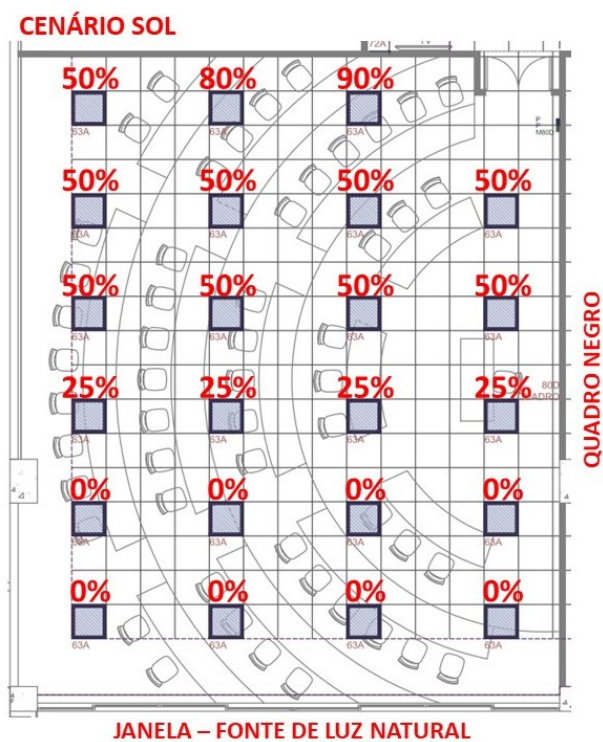
O cenário Sol é caracterizado quando é dia e os raios solares incidem diretamente na janela, ou seja, há grande contribuição de luz natural no ambiente. Com isso, o cenário de sala de aula foi programado conforme o exemplo da Figura 20, que representa a planta baixa de uma sala de aula. Na imagem os quadrados em azul representam a posição das luminárias contidas na sala com a respectiva porcentagem de dimerização apresentada – neste caso, os valores foram iguais a 0 (lâmpadas desligadas), 25, 50, 80 e 90 %, levando em conta a posição geográfica da sala. Também são indicadas as posições das cadeiras, mesas, porta, quadro para projeção (quadro negro) e janela de vidro lateral (fachada em vidro).

O cenário Dia (Figura 21) é acionado quando é dia e a luz solar está do outro lado da fachada, não incidindo diretamente na janela de vidro. Nesse caso, há moderada contribuição de luz natural. Os valores percentuais de dimerização foram os mesmos do cenário Sol, porém em diferentes luminárias. Neste caso, somente a primeira fileira de luminárias mais próxima à janela de vidro ficou com a lâmpadas desligadas.

O cenário Noite é ativado quando não há contribuição significativa de luz natural entrando na sala através da janela. Mesmo assim, os níveis de luminosidade são ajustados para melhor conforto e economia de energia, como ilustrado na Figura 22.

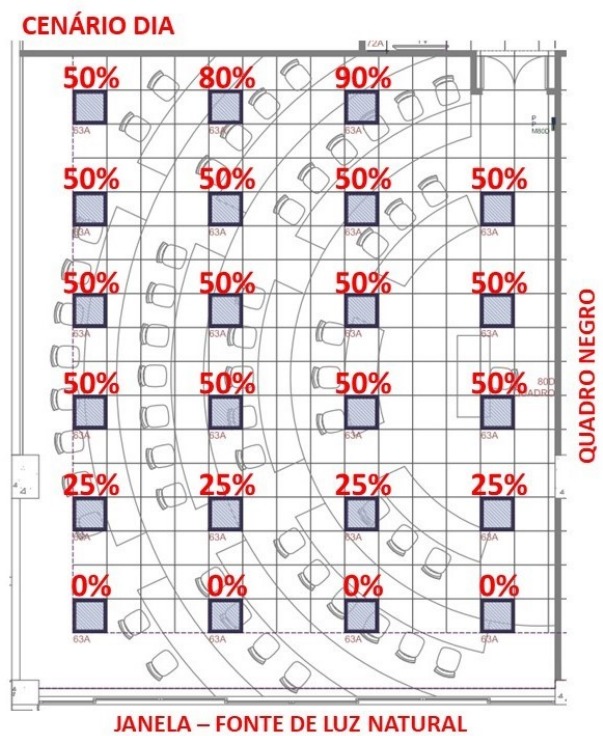
Por fim, o cenário Projeção (Figura 23) pode ser ativado manualmente pelo professor durante a utilização de projetor multimídia. Este cenário foi criado a pedido da instituição para que se possa ter um melhor conforto e visualização quando o professor utiliza o projetor multimídia em suas apresentações. Na Figura 20 a Figura 23 a parte inferior representa a fachada de vidro do prédio e à direita está o quadro negro e tela de projeção.

Figura 20 - Cenário Sol.



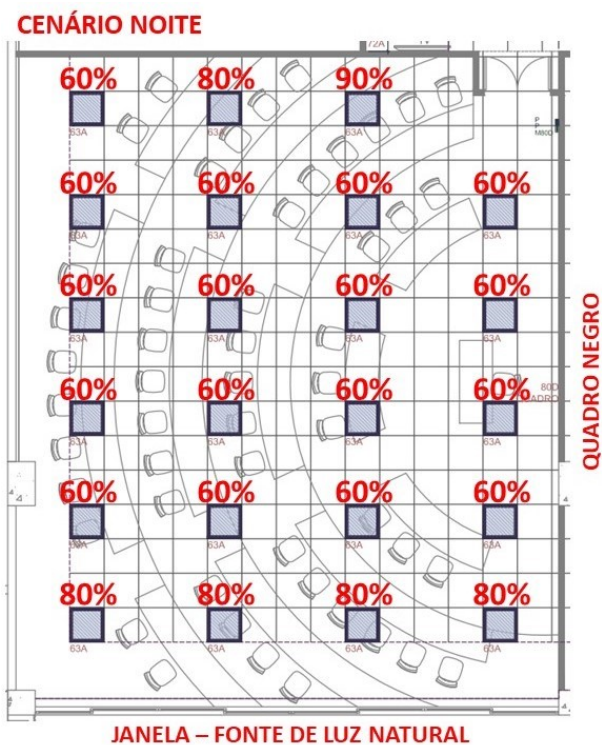
Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Cenário Dia.



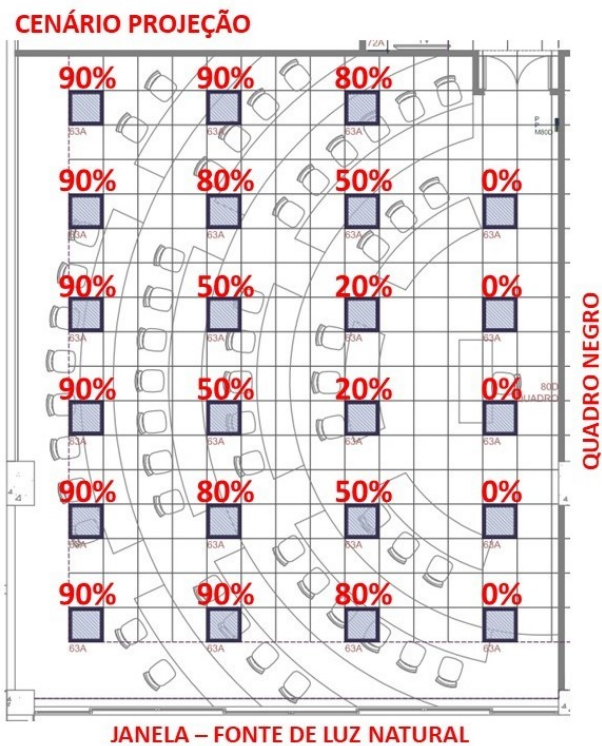
Fonte: Autoria própria.

Figura 22 - Cenário Noite.



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 - Cenário Projeção.



Fonte: Autoria Própria

Outra estratégia para controle de iluminação instalado no edifício são os sensores de presença sem fios, que permitem o desligamento das luzes das salas de aula, salas de reuniões e banheiros automaticamente após um determinado tempo de vacância no local, conforme descrito por Parise et al. (2015).

Nas salas de aula, o tempo para desligamento foi programado em 30 minutos, conforme o trabalho de Kleissl & Agarwal (2010). Nos banheiros, as luzes apagam automaticamente após 15 minutos sem presença, porém também possuem o ligamento automático no período entre o pôr do sol até o nascer do sol, proporcionando um maior conforto para quem vai utilizar as instalações, uma vez que o sistema possui um relógio astronômico e é configurado para a geolocalização em que está instalado.

3.4 NORMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ASHRAE STANDARD 90.1

Conforme discutido por Bertolotti (2011), para cumprir o pré-requisito desempenho energético mínimo da área de Energia e Atmosfera da certificação LEED v4 que o edifício proposto deve apresentar, tipicamente podem ser adotadas duas opções: (i) cumprimento de medidas prescritas de guias de projeto da norma norte americana de eficiência energética de ASHRAE ou (ii) via simulação energética computacional (BERTOLETTI, 2011; MAZZAFERRO, 2015).

A norma de requisitos ASHRAE *Standard* 90.1, que foi publicada inicialmente em 1975, com novas versões em 2007, 2010 e 2013 para diferentes zonas climáticas, propõe-se a ser uma norma internacional, englobando diversos requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Como exemplo, pode-se citar: temperatura interna e externa do empreendimento, isolamento térmico pelas paredes e envoltória da edificação, cargas térmicas, equipamentos internos, infiltração da iluminação natural e sistema de condicionamento de ar, dentre outros (ASHRAE, 2019).

No caso desta pesquisa, os principais critérios de interesse da norma são a iluminação instalada (W/m^2) e potência elétrica geral (W/m^2), sendo esta aplicada para balizar uma avaliação que atenda aos requisitos da análise de uso de energia, além da especificação da densidade luminosa de referência para uma sala de aula.

3.5 FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DA CERTIFICAÇÃO LEED V4

Uma das ferramentas interativas e *online* mais utilizadas atualmente para visualizar, medir e gerenciar iniciativas de eficiência energética e sustentabilidade em empreendimentos é o Energy Star Portfolio Manager. O selo Energy Star é um padrão internacional e voluntário de certificação destinado a identificar e promover o consumo eficiente de energia através de produtos energeticamente eficientes, estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA - *Environmental Protection Agency*) dos EUA, que é encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente (ENERGY STAR, 2019a).

Em países como os EUA, diversas cidades e estados tornaram obrigatória a etiquetagem energética de suas edificações – e hídrico, em alguns casos –, através do programa nacional de etiquetagem Energy Star Portfolio Manager, tornando público seu consumo de energia. Como principais vantagens, o Portfolio Manager auxilia empresas a rastrear e avaliar o uso de energia e água em todo o seu portfólio de edifícios, bem como a implementação de todas as etapas do seu programa de gerenciamento de energia, desde a definição de uma linha de base e a identificação de quais edifícios atingir, a definição de metas e o acompanhamento de melhorias (ENERGY STAR, 2019a).

Neste trabalho, os serviços do Energy Star Portfolio Manager, aprovado pelo USGBC, são aplicados para avaliação de consumo energético do edifício da IES, item essencial para pontuação da certificação LEED v4. A ferramenta funciona a partir do compartilhamento de dados de consumo, informações de custo e detalhes de uso operacional, ajudando a rastrear mais de 100 métricas diferentes e comparando o desempenho da construção com uma linha de base anual, medianas nacionais ou edifícios semelhantes no seu portfólio.

A pontuação de 1 a 100 do Energy Star Portfolio Manager fornece uma maneira simples para revisar e compreender o desempenho de energia dos edifícios. O sistema de classificação avalia os atributos de cada edifício por tipo de espaço, uso de energia e dados mensais de tempo para cada região de prédio. Os edifícios que se classificam em 75 ou superior, isto é, que têm desempenho superior a 75 % de todos os edifícios similares em todo o país, são elegíveis para a certificação Energy Star (ENERGY STAR, 2019a).

O ENERGY STAR Portfolio Manager requer informações como a área bruta do piso, o uso de propriedade, a data em serviço e o local geográfico do prédio. Pelo menos 12 meses consecutivos de *logs* de energia do medidor também são necessários. É possível

estabelecer uma classificação de linha de base para um prédio e, em seguida, configurar uma data prevista e classificação para alcançar uma classificação da Energy Star.

3.6 REPRESENTATIVIDADE DA ILUMINAÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL

Conforme discutido pelos autores Bertolotti (2011) e Souza (2015), para esse tipo de estudo, idealmente, é necessário fazer uma simulação do desempenho energético mínimo do edifício a fim de se ter uma divisão do consumo de energia em iluminação, tomadas, ar condicionado, entre outros. Entretanto, por se tratar de um processo complexo e da necessidade de compra de licenças de uso de *softwares* específicos, não foi possível realizar tal simulação neste trabalho. Como exemplo de pesquisa envolvendo simulação, pode-se citar o trabalho de Seibert (2017), que utilizou ferramentas pagas e *opensource* para: (i) confeccionar uma maquete eletrônica através do *software* Google SketchUp, com o *plugin* Open Studio, informando elementos construtivos, posição geográfica e zonas térmicas dos edifícios base e existentes; (ii) importar das maquetes eletrônicas para o *software* EnergyPlus com o levantamento e inserção de dados; (iii) simular o edifício base com os parâmetros previstos pela norma LEED; (iv) aplicar soluções de engenharia e arquitetura no prédio proposto; (v) simular os resultados das cargas térmicas e consumo elétrico dos sistemas de ventilação, iluminação e ar condicionado.

Diferentemente, a solução adotada neste trabalho se baseou na aplicação de critérios descritos em outros trabalhos científicos. Knijnik (2011) apresentou em seus estudos que a iluminação representa cerca de 24,67 % do consumo energético de um edifício comercial, tendo como parâmetro o prédio *baseline*, estabelecido na norma ASHRAE 90.1. Entretanto, no edifício proposto pelo autor, a iluminação interna representou cerca de 27,59 % do consumo de todo o prédio. Outro estudo, feito por Beltram em 2015, apresentou que nos EUA os sistemas de iluminação representam cerca de 25 % do consumo total de energia da edificação, segundo dados do *Department of Energy*. Com base no último estudo, arbitrou-se o valor de 25 % do consumo total de energia do edifício da FAE Business School para iluminação.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelas medições de consumo e também será mostrado o estudo sobre economia e sua correlação com os parâmetros estabelecidos pela certificação LEED.

4.1 CONSUMO ENERGÉTICO POR SALA DE AULA

Na Tabela 4 são mostradas a quantidade de luminárias em cada uma das 20 salas de ensino da IES. Adicionalmente, é apresentada a potência estimada por sala, baseando-se nos dados coletados – Apêndice.

Tabela 4 - Quantidade de luminárias e potência por sala da IES.

Sala de ensino	Quantidade de Luminárias	Potência (W)
1	18	1116
2	18	1116
3	24	1488
4	23	1426
5	17	1054
6	17	1054
7	18	1116
8	24	1488
9	24	1488
10	23	1426
11	17	1054
12	17	1054
13	17	1054
14	18	1116
15	24	1488
16	24	1488
17	23	1426
18	17	1054
19	17	1054
20	17	1054
TOTAL	397	24614

Fonte: Autoria própria.

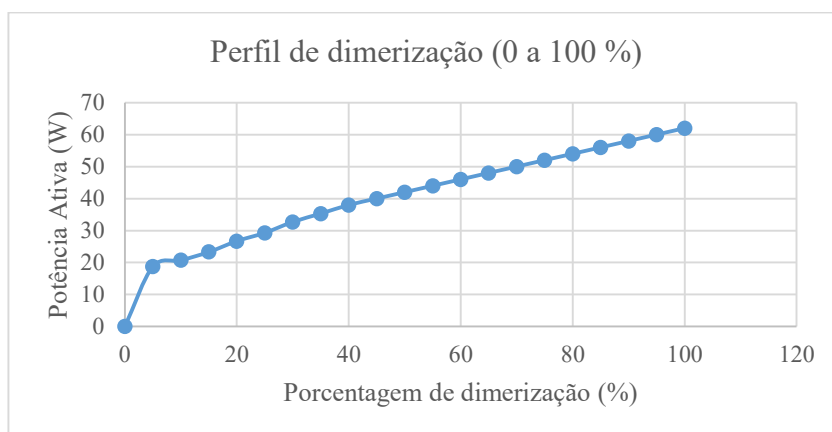
Na Tabela 5 são apresentadas as médias e desvios padrão das medições realizadas de potência ativa das luminárias, considerando os quatro cenários programados para otimização de recursos energéticos. Complementarmente, na Figura 24 é apresentado o gráfico da média resultante do ajuste de dimerização de 0 a 100 %, comprovando o perfil aproximadamente linear do ajuste.

Tabela 5 - Níveis de iluminação (0 a 100 %) vs. consumo por luminária.

Nível (%)	Potência Ativa (W)	Nível (%)	Potência Ativa (W)
100	62,0 ± 0	45	40,0 ± 0
95	60,0 ± 0	40	38,0 ± 1,15
90	58,0 ± 0	35	35,3 ± 1,15
85	56,0 ± 0	30	32,7 ± 1,15
80	54,0 ± 0	25	29,3 ± 1,15
75	52,0 ± 0	20	26,7 ± 1,15
70	50,0 ± 0	15	23,3 ± 1,15
65	48,0 ± 0	10	20,7 ± 1,15
60	46,0 ± 0	5	18,7 ± 1,15
55	44,0 ± 0	0	0,0 ± 0
50	42,0 ± 0	-	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 24 - Resultado médio dos níveis de iluminação (0 a 100 %) vs. consumo por luminária.



Fonte: Autoria própria.

A partir das medições de consumo foi possível estimar o consumo de potência total da sala de aula em cada cenário de iluminação, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Consumo de uma sala de aula com 23 luminárias em seus diversos cenários.

Cenário	Número de luminárias	Potência Ativa (W)
Sol	23	607,1
Dia		775,2
Noite		1110,0
Projeção		901,4

Fonte: Autoria própria.

Caso o edifício não contasse com o sistema de automação e controle via dimerização, as luminárias estariam sempre ligadas a 100 %. Tomando esse valor como base (Tabela 4), é possível comparar com os valores de potência calculados e apresentados na Tabela 6. Os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Economia de energia em cada cenário.

Cenário	Consumo (W)	Referência 100 % (W)	Potência Utilizada (%)	Economia (%)	Economia (W)
Sol	607,1	1426	42,6	57,4	818,8
Dia	775,2	1426	54,4	45,6	650,8
Noite	1110,0	1426	77,8	22,2	316,0
Projeção	901,4	1426	63,2	36,8	524,6

Fonte: Autoria própria.

4.2 PADRÃO DE REFERÊNCIA – CERTIFICAÇÃO LEED

No presente trabalho, arbitrou-se um valor de consumo energético para iluminação baseado em estudos realizados previamente (KNIJNIK, 2011; BELTRAM, 2015). Considerou-se que a iluminação do edifício da FAE Business School representa 25% do consumo total de energia elétrica do edifício. A partir dessa convenção, possibilitou-se verificar quanto de energia é economizada com o sistema de automação aplicado no controle de iluminação.

Segundo a norma ASHRAE 90.1-2010, a densidade luminosa de referência para uma sala de aula é de 13,3 W/m². A partir desse valor, são apresentadas na Tabela 8 a área de cada sala de aula, a potência total da iluminação instalada e a densidade luminosa por metro quadrado.

Tabela 8 - Potência de iluminação instalado por m².

Sala	Área (m ²)	Potência (W)	Densidade Luminosa (W/m ²)
1	85,1	1116	13,11
2	83,72	1116	13,33
3	102,55	1488	14,51
4	115,24	1426	12,37
5	85,84	1054	12,28
6	90,29	1054	11,67
7	64,98	1116	17,17
8	103,62	1488	14,36
9	102,55	1488	14,51
10	115,24	1426	12,37
11	85,84	1054	12,28
12	90,29	1054	11,67
13	86,15	1054	12,23
14	64,98	1116	17,17
15	103,62	1488	14,36
16	102,55	1488	14,51
17	115,24	1426	12,37
18	85,84	1054	12,28
19	90,29	1054	11,67
20	86,15	1054	12,23

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados apresentados na Tabela 8, calcula-se a média e desvio padrão de 13,32 ± 1,66 W/m² de densidade luminosa nos ambientes estudados.

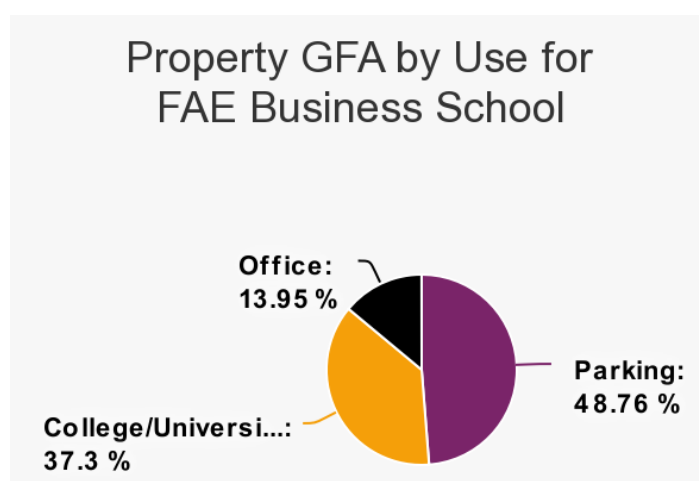
4.3 AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PORTFOLIO MANAGER

Para aplicar a certificação LEED em edifícios é essencial possuir a classificação Energy Star do edifício através da ferramenta *online* Portfolio Manager. Sendo assim, criou-se o edifício da FAE Business School na plataforma, com o seguinte ID: 8730301.

O sistema foi alimentado com as características do edifício apresentadas a seguir, tomando como base o ano de 2018, que está sendo abordado neste trabalho. O gráfico resultante com a proporção da área pelo uso é mostrado na Figura 25.

- Área total (*gross floor area*): 8.238m² - não deve ser contada a parte de estacionamento do edifício e não estão sendo contados os pavimentos que foram entregues vazios na época da obra, que são os pavimentos 6, 7 e 8;
- Taxa de ocupação (*occupancy*): 100 % - esse valor se explica, pois considerou-se a área somente dos pavimentos completamente ocupados;
- Uso para estacionamento (*parking use*): 7.838m²;
- Uso para a escola (*college/university use*): 5.996m² - pavimentos térreo, 2 ao 5;
- Uso para escritórios (*office use*): 2.242m² - pavimentos 9 e 10;
- Tipo da propriedade (*property type*): Propriedade de uso misto (*mixed use property*).

Figura 25 - Proporção da área pelo uso da IES.

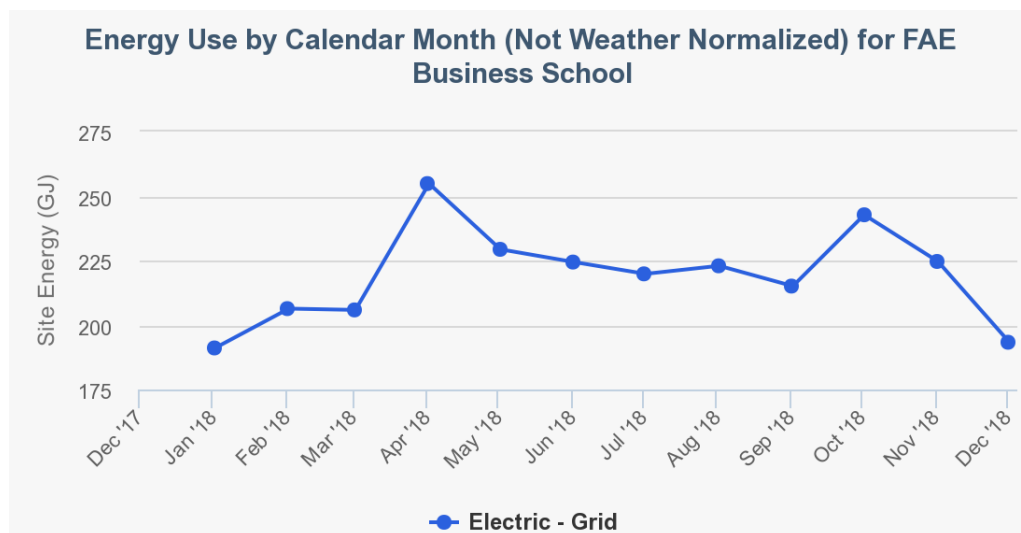


Fonte: Adaptado de Energy Star (2019b).

Os dados de consumo energético foram inseridos na plataforma referente ao ano de 2018. Esses dados foram retirados das faturas de energia elétrica do período e não serão

divulgadas por questões de privacidade. O ID do medidor no sistema Portfolio Manager é o 66832543. Na Figura 26 é mostrado o gráfico de consumo gerado pela plataforma.

Figura 26 - Uso de energia mensal no ano de 2018.



Fonte: Adaptado de Energy Star (2019b).

Como resultado dessas informações, foi cadastrado um objetivo de redução de 25 % de energia, pois é o valor mínimo de redução estipulado pela certificação LEED (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c). Como resultado, o edifício não foi classificado como válido para obter uma nota na certificação Energy Star, pois mais de 50 % da área, neste caso 72 %, não é elegível para pontuação, como mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Propriedade não elegível para certificação ENERGY STAR.

Property is Not Eligible for ENERGY STAR Certification

Unfortunately your property is not eligible to apply for ENERGY STAR Certification for the following reason(s):

1) More than 50% of the Gross Floor Area is not a single Property Type that is eligible for a 1-100 score (in your country).

Problem: In order to receive a score, more than 50% of the Gross Floor Area must be made up of a single Property Type that is [eligible to receive a score \(in your country\)](#). The breakdown of your property's Gross Floor Area as entered is:

- 72% [College/University](#) (not eligible for ENERGY STAR Score)
- 27% [Office](#)

Fonte: Adaptado de Energy Star (2019b).

Mesmo o edifício não obtendo uma pontuação Energy Star, é possível verificar uma comparação com um edifício mediano. Como a pontuação varia entre 0 e 100 pontos, o prédio

base possui 50 pontos para comparação com o edifício de estudo. Esse resultado e comparação são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Comparação dos dados informados da FAE Business School com o objetivo de 25 % de redução e edifício base.

Metrics Comparison for Your Property & Your Target [Change Time Period](#)

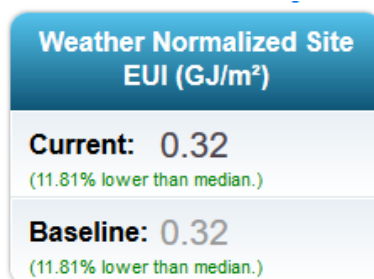
Metric	Dec 31 2018 (Energy Baseline)	Dec 31 2018 (Energy Baseline)	Target*	Median Property*
ENERGY STAR score(1-100)	Not Available	Not Available	Not Set	50
Source EUI(GJ/m ²)	0.89	0.89	0.67	1.01
Site EUI(GJ/m ²)	0.32	0.32	0.24	0.36
Source Energy Use(GJ)	7365.2	7365.2	5523.9	8351.9
Site Energy Use(GJ)	2630.4	2630.4	1972.8	2982.8
Energy Cost(\$)	Not Available	Not Available	Not Set	Not Available
Total GHG Emissions(Metric Tons CO ₂ e)	332.8	332.8	249.6	377.4

* To compute the metrics at the target and median levels of performance, we will use the fuel mix associated with your property's current energy use.

Fonte: Adaptado de Energy Star (2019b).

Com base nos resultados da Tabela 9, a ferramenta calcula que o edifício apresenta uma redução de consumo de 11,81 %, comparando-se com o edifício base (mediano) no ano de 2018. Essa informação apresentada pela ferramenta é mostrada na Figura 28.

Figura 28 - Consumo com normalização do clima.



Fonte: Adaptado de Energy Star (2019b).

4.4 ESTUDO DA APLICAÇÃO DA CERTIFICAÇÃO LEED V4

Esta seção irá abordar a área de Energia e Atmosfera (EA) da certificação LEED v4 O+M (*Building Operations and Maintenance*), que foi apresentada no item 2.1.1.

4.4.1 Avaliação do Pré-Requisito EA: Melhores Práticas de Gestão de Eficiência Energética

Para atender este pré-requisito da certificação é necessário conduzir uma auditoria de energia que atenda aos requisitos da análise de uso de energia contidos na norma ASHRAE. Esta auditoria não será realizada nesse trabalho e será considerado que o edifício alcançou pelo menos o Nível 1 na avaliação da ASHRAE, como especificado pelo USGBC (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c). Essa auditoria pode fazer com que alguns pontos de iluminação sejam alterados ou necessidade de algumas adequações. Será considerado que essa auditoria não impactará no estudo realizado para as salas de aula e/ou não impactarão os resultados abordados aqui para o edifício como um todo.

4.4.2 Avaliação do Pré-Requisito EA: Desempenho Mínimo de Energia

Uma vez que o edifício não é elegível para obter a pontuação no programa Energy Star, utilizando a ferramenta Portfolio Manager, utiliza-se a segunda opção que é adotada em casos como esse.

É necessário comparar o desempenho energético do edifício com a mediana dos edifícios semelhantes e demonstrar uma eficiência maior que 25 %. Essa comparação foi feita no relatório do Portfolio Manager e apresentou uma eficiência de 11,81 %. Sendo assim, é recomendado um melhor desempenho energético do edifício para obter esse pré-requisito.

4.4.3 Avaliação do Pré-Requisito EA: Medição de Energia do Edifício

Este pré-requisito é atendido através do histórico das faturas de energia elétrica e de água que o edifício possui através dos medidores instalados pelos órgãos responsáveis.

4.4.4 Avaliação do Pré-Requisito EA: Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes

Por se tratar de um pré-requisito específico sobre o sistema de ar condicionado instalado no edifício, este item não será abordado nesse trabalho, devendo o edifício contatar a empresa responsável pela instalação desse sistema para maiores detalhes.

4.4.5 Avaliação do Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente - Análise

Créditos: 2 pontos.

Para obtenção desses créditos é preciso desenvolver um plano de comissionamento para o edifício existente, no qual este deve incluir vários itens apresentados na seção 2.1.1.5.

Por se tratar de uma pontuação de análise e comissionamento é possível de ser realizado. Os créditos podem ser conquistados por meio de reuniões com todos os fornecedores de sistemas do edifício, para que juntos possam formatar um plano de melhorias em seus sistemas além de um plano para aplicação, cumprindo os itens solicitados pela certificação. Os sistemas que podem entrar na análise são: controle e automação, eletricidade, iluminação, ar condicionado e tecnologia da informação.

4.4.6 Avaliação do Crédito EA: Comissionamento do Edifício Existente – Implementação

Créditos: 2 pontos.

Cumprindo o plano desenvolvido no item anterior, estabelece-se este crédito. Além disso, é necessário implementar melhorias de baixo custo ou sem custo, desenvolver um plano de cinco anos para substituição de equipamentos e grandes modificações ou atualizações. Deve-se confirmar o treinamento dos funcionários responsáveis pela e operação do edifício, desenvolver um programa de monitoramento e verificação de todos os sistemas, observando a eficácia, custo benefício financeiro e ambiental, conforto, saúde, e ainda atualizar o plano de operações e manutenção sempre visando melhorias (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

4.4.7 Avaliação do Crédito EA: Comissionamento Contínuo

Créditos: 3 pontos.

Deve-se cumprir os requisitos de análise e implementação do comissionamento do edifício existente, apresentados anteriormente. Estabelecer um processo de comissionamento contínuo que inclua planejamento, monitoramento, testes, verificação de desempenho, resposta de ação corretiva, medição contínua e documentação para abordar de maneira ativa os problemas operacionais nos sistemas comissionados (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Nos três critérios de comissionamento apresentados (seções 4.4.5, 4.4.6 e 4.4.7) há a possibilidade de conseguir 7 pontos cumprindo as ações necessárias.

4.4.8 Avaliação do Crédito EA: Otimizar Desempenho Energético

Créditos: 1 a 20 pontos.

Por se tratar de uma grande quantidade de pontos, esta parte da certificação é o principal objeto deste estudo a fim de verificar a eficiência do sistema de controle de iluminação instalado e qual a representatividade dessa economia em todo o edifício.

A primeira forma de verificar a pontuação obtida seria obter a classificação Energy Star. Com uma classificação entre 76 e 95 pontos, obtém-se de 3 a 20 pontos na certificação LEED, conforme mostrado na

Tabela 10 (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Como este projeto não é elegível para receber a classificação Energy Star, deve-se observar outra alternativa de pontuação, que nesse caso é comparar o desempenho da eficiência energética com a propriedade mediana fornecida pela ferramenta Portfolio Manager. O resultado dessa comparação deve demonstrar um desempenho pelo menos 26 % melhor. A pontuação é dada segundo a Tabela 11 (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

Tabela 10 - Classificação Energy Star e pontuação LEED – continua.

Classificação Energy Star	Pontos LEED
76	3
77	4
78	5
79	6
80	7

Tabela 10 - Classificação Energy Star e pontuação LEED – conclusão.

Classificação Energy Star	Pontos LEED
81	8
82	9
83	10
84	11
85	12
86	13
87	14
88	15
89	16
90	17
91	18
93	19
95	20

Fonte: Adaptado de U. S. Green Building Council (2018c).

Tabela 11 - Pontos para percentual de melhoria em relação à edifícios típicos no país.

Percentual de melhoria	Pontos LEED
26	1
27	2
28	3
29	4
30	5
31	6
32	7
33	8
34	9
35	10
36	11
37	12
38	13
39	14
40	15
41	16
42	17
43	18
44	19
45	20

Fonte: Adaptado de U. S. Green Building Council (2018c).

Como a área total das salas de aula igual a 1.860,08 m² e a área ocupada do edifício é igual a 8.238,95 m², conclui-se que as salas de aula representam aproximadamente 22,58 % da área ocupada do edifício. Sendo assim, o consumo anual de energia com iluminação para essa área, no edifício base, seria de aproximadamente 46.772 kWh. Isso significa que o consumo energético com iluminação nas salas de aula representa cerca de 5,65 % de todo o consumo energético do edifício.

Observou-se que os professores não possuem o costume de abrir as cortinas das salas de aula, fazendo com que o cenário Noite seja ativado em todo o tempo. Vários professores utilizam projetor em suas aulas e acionam manualmente o cenário de Projeção

durante a aula. Como mostrado na Tabela 7, o cenário Noite apresenta uma economia de 22,2 %, enquanto o cenário Projeção apresenta uma economia de 36,8 %. Para os cálculos seguintes, será considerado como economia uma média simples entre esses dois valores, resultando em 29,5 %.

Com acesso ao calendário anual de reserva de salas de aula, foram escolhidas duas salas modelos e os horários de utilização foram registrados para o ano de 2018 (365 dias). Ao realizar a média simples dos valores (682h30min e 827h15min), tem-se que cada sala de aula foi utilizada cerca de 755 horas no ano de 2018.

Somando-se as luminárias das salas de aula, chega-se ao valor de 397 luminárias no total. Como cada luminária consome 62 W quando ligada em 100 %, todas as salas de aula juntas consumiriam 18.583,57 kWh no ano de 2018. Uma vez que a dimerização das luminárias possibilita uma economia 29,5 %, então considera-se que a iluminação das salas de aula consumiu aproximadamente 13.101,42 kWh no ano de 2018.

Como apresentado anteriormente, o valor de referência (edifício médio) no Portfolio Manager é de 46.772 kWh, então o valor obtido de 13.101 kWh representa aproximadamente 28 % do total, ou seja, o consumo é 72 % menor que a mediana dos edifícios desse tipo.

Também foi apresentado que a iluminação das salas de aula representa 5,65 % de todo o consumo de energia do edifício. Considerando que o valor de consumo é 72 % abaixo dos edifícios similares, há um consumo de energia de apenas 1,58 % e uma economia global de 4,06 %. Consequentemente, como é necessário demonstrar uma economia de no mínimo 26 % em relação ao edifício de referência, somente a iluminação das salas de aula contribuem com 4,06 % de economia.

Para a certificação LEED, o edifício já apresenta um consumo de 11,81 % menor que a mediana, como mostrado na Figura 28. Então, é necessário melhorar em vários aspectos de consumo de energia para conseguir uma redução de no mínimo 14,19 % para começar a pontuar nesse quesito.

A partir do estudo deste critério, na Tabela 12 são apresentadas as principais informações para a avaliação da eficiência energética do edifício da IES em comparação com o edifício mediano.

Na Figura 29 é ilustrada a representatividade do consumo energético das salas de aula da IES em relação ao consumo total do edifício. Pode-se notar que o consumo das salas de aula do edifício representa aproximadamente 5% do consumo total. Na Figura 30 é apresentada a representatividade do consumo energético das salas de aula da IES em relação

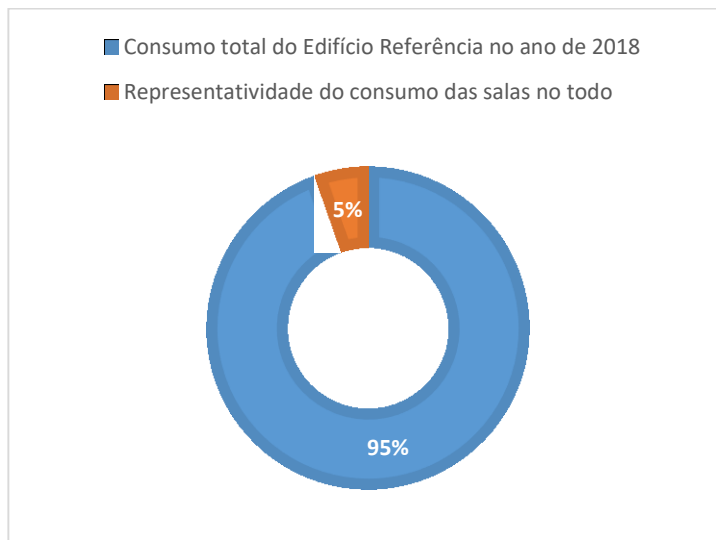
às salas de aula do edifício referência, demonstrando a eficácia do sistema avaliado. Na Figura 31 é mostrada a representatividade do consumo energético das luminárias das salas de aula da IES em relação ao consumo total do edifício referência. O segmento na cor laranja representa a economia energética da FAE em relação ao edifício referência.

Tabela 12 - Resultados da otimização do desempenho energético.

Item	Descrição	Valor	Unidade
1	Consumo total do Edifício Referência no ano de 2018	828.556	kWh
2	Consumo da parcela de iluminação (25%) no Edifício Referência	207.139	kWh
3	Área total da FAE	8.238,95	m ²
4	Área das salas de aula na FAE	1.860,08	m ²
5	Representatividade da área das salas no todo	22,58	%
6	Consumo referente à representatividade das salas de aula no Edifício Referência (22,58%)	46.772	kWh
7	Representatividade do consumo das salas no todo	5,65	%
8	Representatividade de economia de energia no cenário Noite	22,2	%
9	Representatividade de economia de energia no cenário Projeção	36,8	%
10	Média de economia entre os cenários Noite e Projeção	29,5	%
11	Total de luminárias nas salas de aula	397	un.
12	Consumo de uma luminária	62	W
13	Consumo instantâneo total	24.614	W
14	Média de utilização das salas de aula no ano de 2018	755	h
15	Consumo total no ano de 2018	18.583,57	kWh
16	Consumo das luminárias das salas de aula na FAE aplicando os cenários	13.101	kWh
17	Consumo das “salas de aula” no prédio referência (item 6)	46.772	kWh
18	Representatividade do consumo das salas de aula da FAE em relação às salas de aula do Edifício Referência	28	%
19	Representatividade de eficiência energética das salas de aula da FAE com relação ao Edifício Referência	72	%

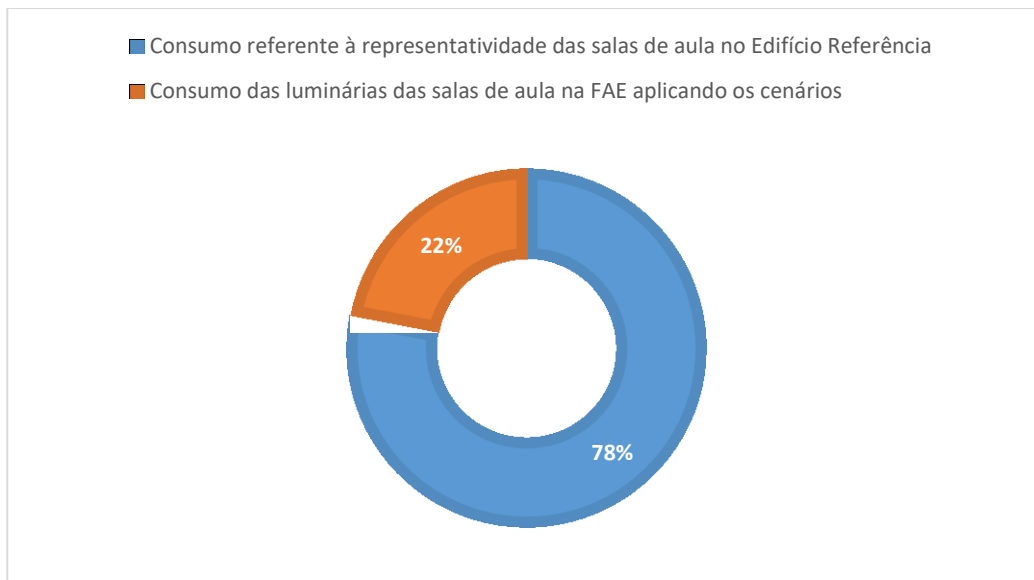
Fonte: Autoria própria.

Figura 29 - Representatividade do consumo energético das salas em relação ao consumo total.



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Representatividade do consumo energético das salas de aula da IES em relação às salas de aula do edifício referência.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 - Representatividade do consumo energético das luminárias das salas de aula da IES em relação ao consumo total do edifício referência. O segmento na cor laranja representa a economia energética da FAE em relação ao edifício referência.



Fonte: Autoria própria.

4.4.9 Avaliação do Crédito EA: Medição de Energia Avançada

Créditos: 2 pontos.

Para obter esse crédito, é necessário realizar a instalação de medidores de energia aplicados nas fontes de energia e nos consumos que representam 20 % ou mais do consumo anual total do edifício (excluindo carga de tomadas) (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018c).

No caso da FAE, como existem quadros elétricos em cada andar, é necessário instalar pelo menos 2 medidores por pavimento, para medir iluminação e ar condicionado. Devem ser instalados medidores nos pavimentos do térreo ao quinto piso, e no nono e décimo piso, além de um em cada um dos cinco subsolos para medir o consumo em iluminação, totalizando 19 medidores.

4.4.10 Avaliação do Crédito EA: Resposta à Demanda

Créditos: 1 a 3 pontos.

No caso da FAE, a opção mais viável seria alcançar 1 ponto através da segunda opção (apresentada na seção 2.1.1.10), criando um plano para alterar automaticamente a temperatura do ar condicionado e o nível de iluminação nos horários de pico.

4.4.11 Avaliação do Crédito EA: Energia Renovável e Compensação de Carbono

Créditos: 1 a 5 pontos.

Não será feito o estudo para aplicação de sistemas fotovoltaicos no edifício, todavia há espaço disponível na última laje do prédio, que é toda vazia, ocupada somente com a casa de máquinas dos elevadores e condensadoras de ar condicionado. Ou seja, é possível implementar um sistema para geração de energia no topo do prédio.

4.4.12 Avaliação do Crédito EA: Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes

Créditos: 1 ponto.

Por se tratar de um crédito específico das características do sistema de ar condicionado, este item não será abordado no trabalho.

4.5 PONTUAÇÃO LEED

Na Tabela 13 é apresentado o resumo da pontuação LEED referente à área de Energia e Atmosfera que a IES FAE Business School pode alcançar cumprindo todos os pré-requisitos descritos nos itens 4.4.1 ao 4.4.4. São indicados a aplicação de critérios mínimo e máximo de desempenho segundo o presente estudo. Adicionalmente, sugere-se seguir as recomendações apresentadas nos critérios 4.4.5 ao 4.4.12.

Tabela 13 - Resumo da pontuação LEED nos critérios mínimo e máximo de desempenho.

Tipo	Descrição	Pontos Possíveis	Pontos Obtidos (pior caso)	Pontos Obtidos (melhor caso)
Pré-Requisito	Melhores Práticas de Gestão de Eficiência Energética	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Pré-Requisito	Desempenho Mínimo de Energia	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Pré-Requisito	Medição de Energia do Edifício	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Pré-Requisito	Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Crédito	Comissionamento do Edifício Existente - Análise	2	2	2
Crédito	Comissionamento do Edifício Existente - Implementação	2	2	2
Crédito	Comissionamento Contínuo	3	3	3
Crédito	Otimizar Desempenho Energético	20	0	20
Crédito	Medição de Energia Avançada	2	2	2
Crédito	Resposta à Demanda	3	1	1
Crédito	Energia Renovável e Compensação de Carbono	5	0	5
Crédito	Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes	1	0	1
Total		38	10	36

Fonte: Autoria própria.

5 DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Conforme apontado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da Fundação Getulio Vargas - Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV-EASP) no documento Edificações Sustentáveis e Eficiência Energética, lançado em 1º de fevereiro de 2017, ainda assim, existem lacunas no marco regulatório da construção civil no Brasil, tais como inexistência de requerimentos mínimos de desempenho em novas construções, etiquetagem obrigatória (eficiência energética) somente em edificações públicas federais e obrigação de geração de energia por fontes renováveis em novas construções. Dessa forma, é fundamental a realização de pesquisas que comprovem a importância de medidas que visem fomentar novas ações de práticas sustentáveis, visando colaborar com a otimização e preservação de recursos naturais, como em outros países – em especial, os EUA (MONZONI & VENDRAMINI, 2017).

O presente trabalho teve por objetivo quantificar a pontuação LEED da contribuição do sistema de automação e controle da iluminação no edifício da IES FAE Business School. Conforme discutido pelos autores Bertoletti (2011) e Souza (2015), para esse tipo de estudo, idealmente, é necessário fazer uma simulação do desempenho energético mínimo do edifício a fim de se ter uma divisão do consumo de energia em iluminação, tomadas, ar condicionado, entre outros. Entretanto, por se tratar de um processo complexo e da necessidade de compra de licenças de uso de *softwares* específicos, não foi possível realizar tal simulação neste trabalho.

Diferentemente, a solução adotada neste trabalho se baseou na aplicação de critérios descritos em outros trabalhos científicos como os trabalhos de Knijnik (2011) e Beltram (2015), onde arbitrou-se o valor de 25 % do consumo total de energia do edifício da FAE Business School para iluminação.

A partir da adoção da ferramenta Portfolio Manager que fornece dados do edifício referência, com quantificação de 50 pontos na certificação Energy Star (0 a 100 pontos), possibilitou-se a comparação do consumo energético do edifício estudado. Neste caso, o resultado da aplicação dos diferentes cenários (controle de dimerização) resultou em um consumo aproximado 72 % menor que a mediana dos edifícios similares, mesmo sem a utilização de luz natural, pois as cortinas das salas de aula sempre permanecem fechadas, conforme descrito no item 4.4.8. Para melhor ilustrar a redução no consumo energético, é apresentado na Tabela 14 o resumo da poupança energética obtida neste estudo.

Tabela 14 - Resumo da poupança energética.

Item	Referência	Parâmetro	Valor	Unidade
1		Área total	8.238,95	m ²
2	Dados da IES FAE	Área total das 20 salas	1.860,08	m ²
3		% da área das salas de aula	22,58	%
4		Economia calculada	72	%
5		Consumo total	828.556	kWh/ano
6	Dados do Edifício Médio (Portfolio Manager)	25 % do total (iluminação)	207.139	kWh/ano
7		Representatividade das salas de aula (22,58 %)	46.772	kWh/ano
8		% do consumo das salas	5,65	%
9	Resultado	% de energia consumida	1,58	%
10		% de energia economizada	4,06	%

Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que o sistema de automação com a dimerização inteligente é um método adequado e eficaz para economia de energia em edificações, uma vez que os cenários apresentados na Tabela 7 indicam a economia que se pode obter.

A economia de energia pode ser maximizada principalmente cumprindo os parâmetros da certificação LEED, apresentados nas seções 4.4.1 e 4.4.5 ao 4.4.7 para operação e manutenção do edifício. Como sugestão, esse plano deve incluir a abertura das cortinas das salas de aula para que se tenha luz natural contribuindo no ambiente, aumentando assim o nível de economia. Mesmo as salas de aula representando uma pequena parte no todo, é possível aumentar o sistema e expandi-lo para outras áreas, como os escritórios, *halls*, corredores, auditórios, refeitório, banheiro, salas de reuniões, dentre outros, que poderiam se beneficiar com a dimerização, aumentando o conforto visual dos colaboradores e reduzindo o consumo energético.

Especificamente referente aos critérios das seções 4.4.5 a 4.4.7, sugere-se realizar a análise dos sistemas instalados, criar um plano de manutenção e melhorias, implementar esse plano e acompanhar a operação e manutenção do edifício, fazendo registros das ações efetuadas e seus resultados. Após a observação do dia a dia e operação do edifício, percebe-se que é possível obter os 7 pontos descritos nestas seções, pois existe um funcionário responsável pela manutenção, além de outros funcionários que são responsáveis por realizar pequenos reparos e manutenções no edifício. Esses colaboradores podem ser treinados para implementar as metodologias apresentadas.

O estudo da participação de equipamento de ar condicionado não entrou na análise deste trabalho. Entretanto, outros trabalhos apontam que tais aparelhos representam grande

parte do consumo energético nos edifícios (KNIJNIK, 2011; BELTRAM, 2015). Com isso, sugere-se aos administradores do prédio que criem planos eficazes de gerenciamento, manutenção e operação, incluindo a operação automática pelo sistema de automação, que hoje contribui apenas com o desligamento das unidades internas das salas de aula quando essa permanecer desocupada por mais de uma hora.

Conforme apresentado na Tabela 13, fez-se a análise da pontuação LEED v4 O+M referente à área de Energia e Atmosfera em dois cenários: critérios mínimo e máximo de desempenho segundo o presente estudo, resultando em 10 e 36 pontos, respectivamente. Ou seja, é possível obter entre 25 e 90 % da pontuação necessária para certificação LEED básica somente com a área Energia e Atmosfera, que possui pontuação máxima de 38 pontos.

Conclui-se que o objetivo principal deste trabalho, que foi avaliar a eficácia do sistema de controle de iluminação instalado quanto à economia de recursos nas salas de aula do edifício da faculdade FAE Business School, através dos critérios elencados na área de Energia e Atmosfera da certificação LEED v4, foi alcançado com sucesso. Além disso, chegou-se à conclusão de que a certificação LEED é uma ferramenta adequada para o estudo de redução de consumo. Essa afirmação é corroborada pelas medições de potência realizadas nas luminárias, bem como através da estimativa de consumo em cada cenário de iluminação.

Após a verificação da agenda das salas de aula e do monitoramento dos cenários ativados, realizaram-se as comparações das estimativas de consumo da iluminação em 100 % e com os cenários. Os resultados avaliados juntamente com os parâmetros da certificação LEED resultaram em uma estimativa de pontuação, juntamente com as sugestões de melhorias. Sendo assim, o objetivo principal e os objetivos específicos foram concluídos integralmente, validando a proposta do trabalho de estudo de caso.

Entre os principais problemas encontrados durante a realização deste trabalho, podem-se citar: falta de acesso completo ao sistema de agendamento das salas, bem como a demora no levantamento desses dados; falta de *softwares* específicos e gratuitos para realização das simulações do consumo energético do edifício; e principalmente, dificuldade no acesso para leitura dos dados de consumo dos equipamentos de ar condicionado – o que inviabilizou essa análise. Como sugestão, considera-se importante implementar um sistema de registro (*log*) da real utilização das salas, pois não é possível afirmar se a agenda obtida foi realmente realizada.

Para trabalhos futuros, sugere-se o correto levantamento de cargas do edifício para que se tenha o valor exato da representatividade de cada sistema. Além disso, propõe-se o

estudo mais aprofundado do consumo do sistema de ar condicionado e elaboração do plano de operação e manutenção do edifício. Por fim, sugere-se o estudo para implantação de energias renováveis no edifício, como painéis fotovoltaicos, por exemplo, a fim de ocupar uma área vazia do edifício e ainda gerar energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2013). Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. *ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS*, 46. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196479>
- ALBUQUERQUE, M. S., & AMORIM, C. N. (2012). Iluminação Natural: Indicações de Profundidade-Limite de Ambientes para Iluminação Natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais—RTQ-R.
- ARCHANA, L., YASIN, M., & BHAGYA, R. (2017). DALI Based Light and Motor Control System for Movable Spot Luminaires. *Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM), 2017 IEEE International Conference*, 433-437.
- ASHRAE. (2019). *ASHRAE*. Acesso em 09 de Novembro de 2019, disponível em <https://www.ashrae.org/>
- AWADH, O. (2017). Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis. *Journal of Building Engineering*, 11, 25-29.
- BELTRAM, L. (2015). *Simulação Computacional do Desempenho Energético de Uma Edificação Comercial*. Porto Alegre.
- BERTOLETTI, L. E. (2011). Comparação do Desempenho Energético de Edifícios Comerciais de Referência Usando as Certificações Leed e Procel-Edifica. *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*.
- CAMPOS, M. A., & FERRÃO, A. M. (2018). Engenharia de Empreendimentos Sustentáveis: Classes de Uso e Níveis de Certificação dos Empreendimentos Certificados no Estado de São Paulo. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 14.
- COSTA, F. L. (2019). Eficiência Energética e Certificação Leed no Brasil: Análise de Créditos Obtidos por Empreendimentos Certificados entre 2009 e 2018.
- ENERGY STAR. (2019a). *Energy Star Portfolio Manager® Buildings & Plants*. Acesso em 09 de Novembro de 2019, disponível em <https://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/use-portfolio-manager>

- ENERGY STAR. (2019b). *Energy Star Portfolio Manager*. Acesso em 13 de Novembro de 2019, disponível em <https://portfoliomanager.energystar.gov/pm/property/8730301>
- FELIPPE, A. R., DA FONSECA, R. W., MORAES, L. N., & PEREIRA, F. O. (2015). Modelagem paramétrica para simulação do desempenho da iluminação natural e termo-energético da edificação. *Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital (vol.19)*.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. (2015a). *Certificação AQUA-HQE*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. (2015b). *Certificação AQUA-HQE em Detalhes*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-em-detalhes/>
- GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. (2014). *Compreenda o LEED*. Acesso em 13 de Março de 2018, disponível em <http://blog.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED.pdf>
- GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. (2018). *Empreendimentos LEED - Gráficos de Crescimento no Brasil*. Acesso em 13 de Março de 2018, disponível em <http://www.gbcbrasil.org.br/graficos-empreendimentos.php>
- ILLANKOON, I. C., TAM, V. W., LE, K. N., & WANG, J. Y. (s.d.). Life cycle costing for obtaining concrete credits in green star rating system in Australia. *Journal of cleaner production*, 172, 4212-4219.
- ISIMPLEX. (2018a). *About Us*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://isimplex.com/index.php/our-company/aboutus.html>
- ISIMPLEX. (2018b). *Home Server*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.isimplex.com/index.php/home-server.html>
- ITRON. (2006). *California Commercial End-Use Survey (CEUS)*. Sacramento, California: California Energy Commission.
- KILIÇ, M., & ALTUN, A. F. (2018). Achieving Green Building Standards via Energy Efficiency Retrofit: A Case Study of an Industrial Facility. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, pp. 55-69.
- KLEISSL, J., & AGARWAL, Y. (2010, June). Cyber-Physical Energy Systems: Focus on Smart Buildings. *Proceedings of the 47th Design Automation Conference, ACM*, 749-754.

- KNIJNIK, D. C. (2011). *Aplicação da norma ASHRAE 90.1 e da certificação LEED em edifícios comerciais*. Porto Alegre.
- KOVÁCS, N. O. (June de 2013). Regulations and Certificates Regarding Energy Efficiency In Buildings. *Energy (IYCE), 2013 4th International Youth Conference, IEEE*, 1-6.
- LUTRON ELECTRONICS. (2017). *HomeWorks QS Overview*. Acesso em 15 de Março de 2017, disponível em <http://www.lutron.com/en-US/Products/Pages/WholeHomeSystems/Homeworksqs/Overview.aspx>
- LUTRON ELECTRONICS. (2018a). *Our Story*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.lutron.com/en-US/Company-Info/Pages/AboutUS/OurStory.aspx>
- LUTRON ELECTRONICS. (2018b). *System Overview HomeWorks QS*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.lutron.com/en-US/Products/Pages/WholeHomeSystems/Homeworksqs/Components.aspx>
- LUTRON ELECTRONICS. (2018c). *Pico Wireless Control - Overview*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.lutron.com/en-US/Products/Pages/Components/PicoWirelessController/Overview.aspx>
- LUTRON ELECTRONICS. (2018d). *EcoSystem® Technology - Overview*. Acesso em 23 de Janeiro de 2018, disponível em <http://www.lutron.com/en-US/Education-Training/Pages/LCE/Technologies/EcoSystem/Overview.aspx>
- LUTRON ELECTRONICS. (2019). *Lutron Residential and Commercial Systems Rules*. Acesso em 13 de Novembro de 2019, disponível em http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/369821_Lutron_Residential_and_Commerical_System_Rules.pdf
- MARTIRANO, L. (2011). A Smart Lighting Control to Save Energy. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2011 IEEE 6th International Conference, 1*, 132-138.
- MAZZAFERRO, L. (2015). Análise das Recomendações da Ashrae Standard 90.1 para a Envoltória de Edificações Comerciais.
- MONZONI, M., & VENDRAMINI, A. (2017). Edificações Sustentáveis e Eficiência Energética. *Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces)*.
- NETO, J. A. (2018). Casa Eficiente em Cuiabá - Parâmetros de Implantação da Certificação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel. Várzea Grande.

- OGATA, C. R., DE OLIVEIRA, S. C., CAMARGO, T. M., LEMES, D. P., CATAPAN, A., & MARTINS, P. F. (2014). Projeto de Investimento para Automação no Brasil: Uma Análise com a Utilização da Metodologia Multi-Índices e da Simulação de Monte Carlo. *Revista Espacios*, vol. 35, n° 5.
- OZADOWICZ, A., & GRELA, J. (2017). Impact of Building Automation Control Systems on Energy Efficiency—University Building Case Study. *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2017 22nd IEEE International Conference*, 1-8.
- PARISE, L., LAMONACA, F., & CARNÌ, D. L. (2015). Interior Lighting Control System: A Practical Case Using Daylight Harvesting Control Strategy. *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015 IEEE 15th International Conference*, 719-724.
- PASSOS, L. S., & BRUNA, G. C. (2019). Certificação Ambiental LEED: Mapeamento em São Paulo. *MIX Sustentável*, 5, pp. 41-54.
- PROCEL INFO. (2006). *Selo Procel Edificações - Qual a diferença entre Selo Procel Edificações e Etiqueta PBE Edifica?* Acesso em 13 de Novembro de 2019, disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAE}#1>
- PROCEL INFO. (2019). *Selo Procel*. Acesso em 09 de Novembro de 2019, disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>
- RECH, A. S., DEBRASSI, J., LIRA, L. H., THOMAZ, O., & SOUZA, M. A. (2018). Certificação LEED e sua Importância nas Construções Brasileiras. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7, pp. 300-312.
- SCARSI, V. H., ASSEF, A. A., MORITZ, G. L., & SOUTO, R. F. (2017). A Automação no Processo de Economia de Energia e Certificação LEED de um Edifício de Faculdade - Estudo de Caso. *XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, pp. 845-849.
- SEIBERT, G. (2017). Análise da Certificação LEED Através de Simulação Termoenergética.
- SILVA, G. B. (2013). Análise do Sistema De Gestão de Água na Certificação AQUA do Escritório Verde na Cidade de Curitiba, Paraná, Brasil. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*.
- SOUZA, I. C. (2015). *Certificação LEED Empregada no Bloco B da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina*. Londrina.

- STEFANUTO, Á. P., & HENKES, J. A. (2012). Critérios para Obtenção da Certificação LEED: Um Estudo de Caso no Supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 1*, pp. 282-332.
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2016). *Checklist: LEED v4 for Building Operations and Maintenance*. Acesso em 13 de Novembro de 2019, disponível em <https://www.usgbc.org/resources/checklist-leed-v4-building-operations-and-maintenance>
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2018a). *About USGBC*. Acesso em 20 de Março de 2018, disponível em <https://new.usgbc.org/about>
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2018b). *Better Buildings Are Our Legacy*. Acesso em 20 de Março de 2018, disponível em <https://new.usgbc.org/leed>
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2018c). *LEED v4 for Building Operations and Maintenance - current version*. Acesso em 13 de Novembro de 2019, disponível em <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-operations-and-maintenance-current-version>
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2019). *U.S. Green Building Council Announces Top 10 Countries and Regions for LEED Green Building*. (S. Stanley, Editor) Acesso em 20 de Julho de 2019, disponível em <https://www.usgbc.org/articles/us-green-building-council-announces-top-10-countries-and-regions-leed-green-building>

APÊNDICE

Dados brutos das medições nos reatores.

	Nível (%)	Tensão (V)	Corrente (A) (x10)	Potência Ativa (kW) (x10)	Potência Aparente (kVA) (x10)	Fator de Potência
Luminária 18.1	100	128,7	2,5	0,31	0,31	0,999
de 0% a 100%	95	125,8	2,4	0,3	0,3	0,998
kVAR sempre negativo	90	126,2	2,3	0,29	0,29	0,998
	85	126,3	2,2	0,28	0,28	0,998
	80	126,7	2,1	0,27	0,27	0,998
	75	126,7	2,1	0,26	0,26	0,998
	70	126,7	2	0,25	0,25	0,998
	65	126,2	1,9	0,24	0,24	0,998
	60	127	1,8	0,23	0,23	0,998
	55	127,2	1,7	0,22	0,22	0,998
	50	127,4	1,7	0,21	0,21	0,998
	45	127,2	1,6	0,2	0,2	0,998
	40	127,7	1,5	0,19	0,19	0,998
	35	128	1,4	0,17	0,17	0,998
	30	127,9	1,3	0,16	0,16	0,998
	25	128,2	1,1	0,14	0,14	0,998
	20	128,3	1	0,13	0,13	0,998
	15	128,1	0,9	0,11	0,11	0,998
	10	128,5	0,8	0,1	0,1	0,996
	5	128,6	0,7	0,09	0,09	0,995
	0	129,8	0	0	0	1

	Nível (%)	Tensão (V)	Corrente (A) (x10)	Potência Ativa (kW) (x10)	Potência Aparente (kVA) (x10)	Fator de Potência
Luminária 21.1	100	125,6	2,5	0,31	0,32	0,995
de 0% a 100%	95	126	2,4	0,3	0,3	0,995
kVAR sempre negativo	90	126	2,3	0,29	0,29	0,995
	85	126,3	2,3	0,28	0,28	0,994
	80	126,7	2,2	0,27	0,27	0,994
	75	126,9	2,1	0,26	0,26	0,994
	70	126,7	2	0,25	0,26	0,993
	65	126,8	1,9	0,24	0,24	0,993
	60	126,8	1,9	0,23	0,23	0,992
	55	126,9	1,8	0,22	0,23	0,992
	50	127,2	1,7	0,21	0,21	0,991
	45	127,4	1,6	0,2	0,2	0,99
	40	127,6	1,5	0,19	0,19	0,989
	35	127,6	1,4	0,18	0,18	0,988
	30	127,8	1,3	0,16	0,16	0,986
	25	128,1	1,2	0,15	0,15	0,988

20	128	1	0,13	0,13	0,984
15	128,5	0,9	0,12	0,12	0,978
10	128,6	0,8	0,1	0,11	0,972
5	128,2	0,7	0,09	0,09	0,963
0	129,8	0,1	0	0,02	1

	Nível (%)	Tensão (V)	Corrente (A) (x10)	Potência Ativa (kW) (x10)	Potência Aparente (kVA) (x10)	Fator de Potência
Luminária 21.2	100	126,6	2,5	0,31	0,31	0,996
de 0% a 100%	95	126,4	2,4	0,3	0,3	0,996
kVAR sempre negativo	90	126,3	2,3	0,29	0,29	0,996
	85	126,7	2,2	0,28	0,28	0,996
	80	126,6	2,2	0,27	0,27	0,995
	75	127	2,1	0,26	0,26	0,995
	70	127,2	2	0,25	0,25	0,995
	65	127,1	1,9	0,24	0,24	0,994
	60	127,4	1,9	0,23	0,24	0,994
	55	127,3	1,8	0,22	0,23	0,994
	50	127,5	1,7	0,21	0,22	0,993
	45	127,6	1,6	0,2	0,21	0,992
	40	127,7	1,5	0,19	0,19	0,992
	35	128,1	1,5	0,18	0,18	0,991
	30	128,3	1,4	0,17	0,17	0,99
	25	128,9	1,2	0,15	0,15	0,991
	20	129,1	1,1	0,14	0,14	0,988
	15	129,2	1	0,12	0,13	0,985
	10	129,4	0,9	0,11	0,11	0,98
	5	129,5	0,8	0,1	0,1	0,973
	0	130	0,1	0	0,01	1

PUBLICAÇÃO REFERENTE AO TRABALHO DE MESTRADO

SCARSI, V. H. E. ; ASSEF, A. A. ; MORITZ, G. L. ; SOUTO, R. F. A automação no processo de economia de energia e certificação LEED de um edifício de faculdade - Estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2017, Porto Alegre. SBAI 2017, 2017.