



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Wander Terra de Souza

**FATOR INDICATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BASEADO NO MÉTODO
DOS LUMENS E NA LUZ NATURAL**

BAGÉ

2021

WANDER TERRA DE SOUZA

**FATOR INDICATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BASEADO NO MÉTODO
DOS LUMENS E NA LUZ NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Enoque Dutra Garcia.

BAGÉ

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) Autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S729f Souza, Wander Terra de
FATOR INDICATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BASEADO NO MÉTODO
DOS LUMENS E NA LUZ NATURAL / Wander Terra de Souza.
98 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ENERGIA, 2021.
"Orientação: Enoque Dutra Garcia".

1. Eficiência energética. 2. Iluminação artificial. 3. Luz
natural. 4. Método dos lumens. I.FATOR INDICATIVO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA BASEADO NO MÉTODO DOS LUMENS E NA LUZ NATURAL



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

WANDER TERRA DE SOUZA

**FATOR INDICATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BASEADO NO MÉTODO
DOS LUMENS E NA LUZ NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Energia
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Enoque Dutra Garcia.

**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de Abril de
2021.**

Banca examinadora:

Prof. Dr. Enoque Dutra Garcia
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Fabio Luis Tomm
UNIPAMPA

Prof. Dr. Luiz Fernando de Freitas Gutierrez
UFSM



Assinado eletronicamente por **ENOQUE DUTRA GARCIA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/05/2021, às 17:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FABIO LUIS TOMM, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/05/2021, às 20:47, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Luiz Fernando de Freitas Gutierrez, Usuário Externo**, em 10/05/2021, às 08:16, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0520583** e o código CRC **AAD80E42**.

Referência: Processo nº 23100.007404/2021-34 SEI nº 0520583

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela oportunidade em poder seguir adiante na jornada da nossa evolução. Agradeço também a minha mãe, Cláudia e minha avó, dona Wanda, que me apoiam incessantemente e me revigora, mesmo que a distância nos separe fisicamente. Agradeço a todos os familiares e amigos distantes que me trazem conforto, alegria e perseverança para prosseguir nos meus estudos. Agradeço também, aos amigos de Bagé e região que me acolheram e me deram forças para continuar seguindo meus objetivos. Especialmente agradeço a Débora que com todo seu amor me fortalece a cada dia e me enche de esperança.

Agradeço a todos os profissionais da UNIPAMPA que compartilharam suas experiências e aprendizados tornando-nos, seres mais competentes para aprimorarmos nosso saber.

Sou agradecido por cada experiência vivenciada seja ela boa ou não pois, o meu amadurecimento está na compreensão do universo do jeito que ele é.

A todos, o meu muito obrigado.

“A credibilidade é consequência do método”.

Carl Sagan

RESUMO

A iluminação nos espaços internos das edificações é preponderante para o desempenho das atividades realizadas e o conforto dos usuários. O modo como se utiliza a iluminação pode oferecer melhores condições de desempenho visual quando se agrega a luz natural à iluminação artificial resultando na eficiência do sistema de iluminação e redução de custos na fatura de energia elétrica. Nesse sentido, este artigo apresenta o Fator Indicativo de Eficiência Energética da Luz (FIEEL), propondo ao usuário como ele pode utilizar a luz natural em conjunto à iluminação artificial mantendo o nível de iluminância recomendado na literatura. O desenvolvimento deste estudo teve início com a coleta de dados em uma sala de aula de um Campus Bagé da Universidade Federal do Pampa, observando as condições climáticas em três turnos do dia e alternando os cenários de iluminação. Após, foi realizado um cálculo luminotécnico utilizando o método dos lumens e realizadas modelagens e simulações através do DIALux EVO®. Com base nos resultados, pode-se analisar quando é indicado utilizar a luz natural para substituir a iluminação artificial ou agregá-las. O processo metodológico desenvolvido e a implementação em ferramenta computacional, trazem a oportunidade de se aprimorar a cultura da eficiência energética, além de ser uma ação em prol da conservação dos recursos naturais. De tal modo, atendem os três pilares da sustentabilidade: o econômico, o social e o ambiental.

Palavras-chave: Eficiência energética. Iluminação artificial. Luz natural. Método dos lumens.

ABSTRACT

The lighting in the internal spaces of the buildings is preponderant for the performance of the activities carried out and the comfort of the users. The way in which lighting is used can offer better visual performance conditions when natural light is added to artificial lighting, resulting in the efficiency of the lighting system and cost reduction in the electricity bill. In this sense, this article presents the Indicative Factor of Energy Efficient Lighting (in portuguese, "Fator Indicativo de Eficiência Energética da Luz - FIEEL), proposing to the user how he can use natural light in conjunction with artificial lighting while maintaining the level of illuminance recommended in the literature. The development of this study started with the collection of data in a classroom of a Campus Bagé of the Federal University of Pampa, observing the climatic conditions in three shifts of the day and alternating the lighting scenarios. Afterwards, a luminotechnical calculation was performed using the lumens method and modeling and simulations were performed using DIALux EVO®. Based on the results, it can be analyzed when it is indicated to use natural light to replace artificial lighting or to add them. The methodological process developed and the implementation in a computational tool, bring the opportunity to improve the culture of energy efficiency, in addition to being an action in favor of the conservation of natural resources. In this way, they meet the three pillars of sustainability: the economic, the social and the environmental.

Keywords: Energy efficiency. Artificial lighting. Natural light. Lumens method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da relação do tema com o curso.....	18
Figura 2 - Espectro eletromagnético.....	25
Figura 3 - Principais propriedades fotométricas.....	27
Figura 4 - Eficiência energética por lâmpada.....	28
Figura 5 - Temperatura da cor.....	29
Figura 6 - Diferentes tipos de IRC (51%, 80% e 90%)	30
Figura 7 - Classificação das fontes de iluminação artificial.....	31
Figura 8 - Curva de distribuição de intensidade luminosa.....	32
Figura 9 - Luminárias.....	32
Figura 10 - Curvas isolux.....	33
Figura 11 - Cavidades do método das cavidades zonais.....	44
Figura 12 - Fonte luminosa pontual.....	47
Figura 13 - Fluxograma geral da metodologia.....	50
Figura 14 - Fluxograma de indicação considerando 6 luminárias.....	52
Figura 15 - Fluxograma de indicação considerando 10 luminárias.....	52
Figura 16 - Fluxograma dos três passos.....	53
Figura 17 - Gráfico da radiação solar pela latitude.....	54
Figura 18 - Representação da posição da sala no edifício.....	56
Figura 19 - Imagem da sala 4107.....	57
Figura 20 - Luxímetro digital.....	57
Figura 21 - Lâmpadas atuais da sala.....	58
Figura 22 - Tabela do índice da cavidade local.....	62
Figura 23 - Composição do gráfico da radiação solar pela latitude.....	66
Figura 24 - Representação da sala 4107.....	68
Figura 25 - Cenário de Iluminação Artificial mais Luz Natural.....	69
Figura 26 - Cenário de Luz Natural.....	70
Figura 27 - Cenário com 6 luminárias fluorescentes.....	71
Figura 28 - Cenário com 12 luminárias fluorescentes.....	71
Figura 29 - Cenário com 6 luminárias de LED.....	72
Figura 30 - Médias 1ª semana.....	85
Figura 31 - Médias 2ª semana.....	86
Figura 32 - Médias 3ª semana.....	87

Figura 33 - Médias 4ª semana.....	88
Figura 34 - Modelos de lâmpadas halógenas.....	90
Figura 35 - Princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente.	91
Figura 36 - Modelos de lâmpadas fluorescentes.....	92
Figura 37 - Esquema de lâmpada de descarga a alta pressão.....	93
Figura 38 - Modelos de lâmpadas de descarga.....	94
Figura 39 - Princípio de funcionamento do LED.....	95
Figura 40 - Processo de emissão de luz.....	95
Figura 41 - Modelos de LEDs.....	96
Figura 42 - Espaçamento entre luminárias.....	97
Figura 43 - Espelho da fatura de energia.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Painel da revisão sistemática por similaridade de assuntos.	17
Tabela 2 - Escalas de céu.....	35
Tabela 3 - Requisitos para o planejamento da iluminação.....	38
Tabela 4 - Ângulos de corte para níveis de luminância.....	39
Tabela 5 - Exemplos fatores de manutenção	39
Tabela 6 - Classificação das zonas por intervalo de luminância.....	40
Tabela 7 - Médias das medidas para a primeira semana.....	59
Tabela 8 - Médias das medidas para a segunda semana.....	59
Tabela 9 - Médias das medidas para a terceira semana.....	59
Tabela 10 - Médias das medidas para a quarta semana.....	60
Tabela 11 - Médias gerais incluindo todas as semanas.....	60
Tabela 12 - Médias para a condição de céu limpo.....	60
Tabela 13 - Médias para a condição de céu parcialmente encoberto....	60
Tabela 14 - Médias para a condição de céu encoberto.....	61
Tabela 15 - Desvio para a condição de céu limpo, 6.....	64
Tabela 16 - Desvio para a condição de céu parcialmente encoberto, 6.	64
Tabela 17 - Desvio para a condição de céu encoberto, 6.....	64
Tabela 18 - Desvio para a condição de céu limpo, 10.....	65
Tabela 19 - Desvio para a condição de céu parcialmente encoberto, 10	65
Tabela 20 - Desvio para a condição de céu encoberto, 10.....	65
Tabela 21 - Comparação entre resultados para o primeiro cenário.....	72
Tabela 22 - Cálculo da energia consumida pelo sistema atual.....	74
Tabela 23 - Cálculo da energia consumida pelo sistema proposto.....	75
Tabela 24 - Cálculo da economia gerada.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas
CB - Campus Bagé
CDL - Curva de distribuição luminosa
CIE - Commission Internationale de L'éclairage
CoB - Chip on Board
CONFEA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
DME - Department of minerals and energy Pretoria
FIEEL – Fator indicativo de eficiência energética da luz
FLD - Fator de luz natural
FMFL - Fator de depreciação do fluxo luminoso
FML - Fator de manutenção da luminária
FMSS - Fator de manutenção da superfície da sala
FSL - Fator de sobrevivência da lâmpada
IEA - International energy agency
IEC - International electrotechnical commission
IES - Illuminating engineering society
IRC - Índice de reprodução da cor
ISO - International organization for standardization
IULN - Iluminância útil de luz natural
LED - Light emitting diode
N - Negativo
NBR - Norma brasileira
OLED - Organic light emitting diode
P – Positivo
PC - Phosphor conversion
PDE - Plano decenal de expansão de energia
RCL - Razão da cavidade local
RGB - Red-green-blue
SMD - Surface mounted device
SSL - Solid state lighting
UV - Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

Φ - Fluxo luminoso

Θ - Ângulo

$^{\circ}\text{C}$ - Celsius

μ - Coeficiente de utilização

η_r - Índice do recinto

η_l - Eficiência da luminária

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Procedimento de pesquisa.....	16
1.2 Relação do tema com a formação em engenharia.....	17
1.3 Objetivo.....	18
1.4 Justificativa e relevância.....	19
1.5 Organização do trabalho.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Pesquisas alinhadas ao tema proposto neste estudo.....	22
2.2 Principais fundamentos da luminotécnica.....	24
2.3 Iluminação artificial.....	30
2.3.1 Lâmpadas e luminárias.....	30
2.4 Luz natural.....	34
2.5 Visão geral de normativas sobre iluminação.....	37
2.6 Métodos de cálculos luminotécnicos.....	40
2.6.1 Método de cálculo pelos lumens.....	41
2.6.2 Método de cálculo pelas cavidades zonais.....	42
2.6.3 Método de cálculo da iluminação ponto a ponto.....	46
3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA.....	49
3.1 Etapas do processo metodológico.....	49
3.2 Proposta para validação do FIEEL.....	50
3.3 Definição da estimativa de uso.....	53
4. ESTUDO DE CASO.....	56
4.1 Medida de iluminância na sala.....	56
4.1.1 Tabelamento das verificações.....	58
4.2 Aplicação do método dos lumens.....	61
4.3 Análise de resultados por comparação.....	63
4.4 Verificação luminotécnica através de software.....	66
4.5 Resultados com aplicação do FIEEL.....	73
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
TRABALHOS FUTUROS.....	79
PUBLICAÇÕES.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

APÊNDICE.....	85
ANEXO.....	98

1. INTRODUÇÃO

A demanda energética mundial cresce ano a ano devido ao constante desenvolvimento nos diversos setores econômicos ao redor do mundo. Segundo a *International energy agency* - IEA (2018), a expansão da renda e crescimento da população mundial, sendo que a maior parte dela residente em zonas urbanas de países em desenvolvimento, contribuirá para um aumento de mais de 25% da demanda de energia até 2040. É de se notar que a eletricidade é a fonte de energia priorizada pelas economias cujo investimento se dá sobretudo em setores industriais de bens de consumo, serviços e tecnologias digitais. Sua porcentagem no total do consumo final de energia no mundo aproxima-se de 20% e deverá aumentar ainda mais nos próximos anos, afirma IEA (2018).

Quando se trata de iluminação, IEA (2018) considera que o consumo de energia com iluminação seja responsável por 19% de toda a energia elétrica gerada no mundo. No Brasil, a energia elétrica em 2019 representou 52% do consumo final de energia no setor de edificações, segundo o Plano Decenal de Energia - PDE (2019). Em edifícios comerciais e públicos o uso predominante é da energia elétrica. PDE (2019) estima para 2029 que o consumo final de eletricidade no setor de edificações alcance 70% da matriz energética. Entretanto, a demanda por eletricidade para iluminação irá diminuir, resultado da maior penetração de novas técnicas e tecnologias nos sistemas de iluminação.

A partir destas constatações, nota-se o grande potencial de contribuição na matriz energética que as ações voltadas à eficiência energética dispõe visto a defasagem tecnológica ainda implementada em diversos equipamentos instalados em vários setores da economia. Neste sentido, percebe-se que a iluminação representa um percentual notável na demanda energética. Onde essa, pode ser influenciada visto a maior penetração da eficiência energética implementada com novas tecnologias que o mercado dispõe.

De acordo com Creder (2016), não basta pretender garantir uma boa visualização da tarefa a ser realizada para projetar uma boa iluminação do local de trabalho. É essencial que as tarefas possam ser desempenhadas sem desconfortos visuais, considerando ainda aspectos funcionais e estéticos, por exemplo. Os recintos devem ser iluminados de forma a possibilitar os melhores rendimentos das

ações a serem realizadas. Em universidades e instituições de ensino, a iluminação tem influência direta no cotidiano de discentes, docentes, técnicos e comunidade em geral.

Segundo AECWEB (2020), o desempenho dos alunos e a atuação dos professores sofrem influência direta de acordo com o nível de luminosidade dos ambientes. Locais com iluminação apropriada colaboram para uma maior produtividade acadêmica, assim como contribuem para a eficientização energética e a maior economia de gastos com o consumo de energia elétrica.

A economia de energia é um fator importante nos estabelecimentos de ensino. Para se manter a conservação de energia nestes ambientes, é adequado o controle da iluminação nos momentos distintos de utilização dos espaços e considerando também o uso da luz natural como parte dos recursos disponíveis. (AECWEB, 2020).

Dessa maneira, é essencial verificar os níveis de iluminância dos ambientes internos para aprimorar o uso e gestão do sistema de iluminação da universidade como um todo. Assim, os ambientes tornam-se ainda mais propícios à execução saudável das atividades acadêmicas.

A respeito da preocupação ambiental e energética, é conveniente que se tenha uma responsabilidade e compromisso com a conservação dos recursos naturais. A adoção de sistemas energéticos mais eficientes aliado a uma conscientização do uso da energia, diminui custos além de tornar o ambiente de trabalho mais saudável para o desenvolvimento das atividades.

Neste trabalho, investigam-se as intensidades de iluminação de uma sala de aula da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé para propor um fator que indique o melhor uso da iluminação considerando a luz natural com base no método dos lumens. Nesse sentido, buscam-se oportunidades de desligamento de lâmpadas quando níveis satisfatórios de iluminância estiverem garantidos em virtude da luz natural de tal modo a otimização do uso da iluminação artificial.

1.1 Procedimento de pesquisa

O desenvolvimento da pesquisa bibliográfica teve início com a elaboração do protocolo de revisão sistemática da literatura que é apresentado a seguir. O tema de estudo determinado foi “Fator Indicativo de Eficiência Energética baseado no Método

dos Lumens e na Luz Natural”. Com a execução de estudos primários e calibração das palavras-chaves, o tema da revisão sistemática foi dividido em quatro palavras-chave: “Eficiência energética”, “Iluminação artificial”, “Luz natural” e “Método dos lumens”. A busca deu-se sem recorte temporal, por se ter por objetivo verificar a evolução das publicações que, além de se relacionarem com a questão de pesquisa deste trabalho, contribuem para compreensão mais ampla do tema.

Definidos os termos de busca, os mesmos foram pesquisados de forma avançada nas bases científicas: Scopus, Web of Science, IEEExplore, Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e Scielo. Fundamentado na consulta Booleana (“Eficiência Energética” OR “Iluminação Artificial” OR “Luz Natural” OR “Método dos Lumens”) AND (“Energy efficiency” OR “Artificial lighting” OR “Natural light” OR “Lumens method”), entre outras variações. Todas as bases foram acessadas a partir do domínio da Universidade. A busca avançada nas bases considerou o filtro: TITLE-ABS-KEY (“Eficiência Energética” AND “Iluminação Artificial” AND “Luz Natural” AND “Método dos Lumens”). Foi encontrado um total de 34 trabalhos com as especificações de busca. A seleção e extração dos dados relevantes dos 34 artigos deu-se mediante a leitura dos resumos e conclusões. Destes, 13 foram lidos na íntegra. Contudo, foram selecionados 20 estudos que estavam alinhados à questão de pesquisa deste trabalho. Na tabela 1 são apresentados os principais resultados da extração dos dados. Os 20 artigos selecionados foram estratificados por similaridade de tema.

Tabela 1 - Painel da revisão sistemática por similaridade de assuntos.

Tema	Quantidade trabalhos
Eficiência Energética	19
Iluminação Artificial	20
Luz Natural	20
Método dos Lumens	16

Fonte: Autor, 2021.

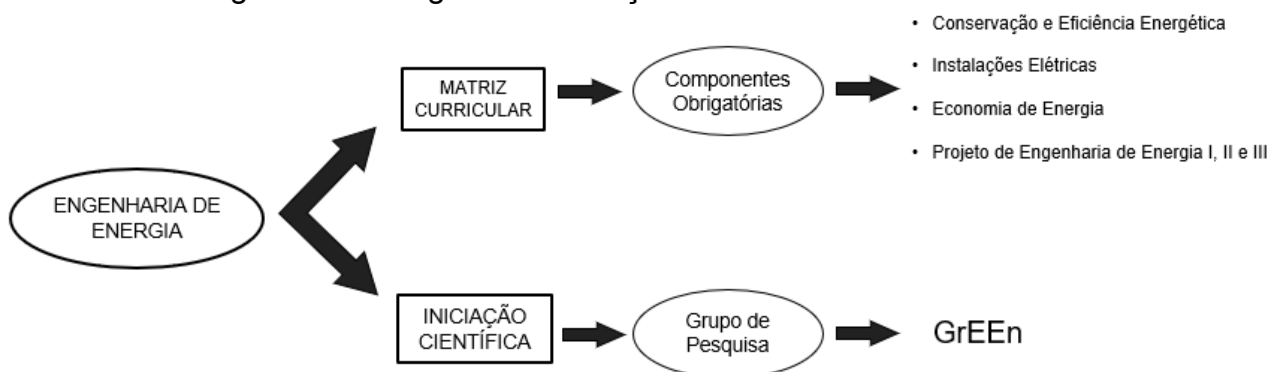
1.2 Relação do tema com a formação em engenharia

De acordo com a Resolução CONFEA 1076/16, Art. 2º, dentre as competências do engenheiro de energia está evidenciada a atuação no desenvolvimento de atividades voltadas à gestão em recursos energéticos e eficiência energética. Conforme o Plano Pedagógico do curso de graduação em

Engenharia de Energia da UNIPAMPA, Campus Bagé, o perfil do egresso da graduação em Engenharia de Energia prevê que este profissional dentre outras habilidades possa elaborar projetos e estudos de conservação e de eficiência de energia e utilizar fontes alternativas e renováveis. Destaca-se também as disciplinas Conservação e Eficiência Energética, Instalações Elétricas e Economia de Energia que presumem em suas ementas: eficiência energética de dispositivos elétricos; análise econômica de cargas com foco na gestão de energia; compreender e projetar sistemas de iluminação artificial; ter noções de eficiência energética, qualidade de energia e automação em instalações elétricas; elementos de análises econômicas de projeto e visão econômica ampla da questão energética.

A seguir, apresenta-se um fluxograma destacando as disciplinas cujos conteúdos programáticos coincidem com o tema deste trabalho de iniciação científica do Grupo de Estudos Avançados em Engenharia de Energia (GrEEn). Neste sentido, foram realizadas publicações durante o desenvolvimento dos estudos. (GUTIERRES; TERRA, 2019; GARCIA; TERRA, 2020).

Figura 1 - Fluxograma da relação do tema com o curso.



Fonte: Autor (2021).

1.3 Objetivo

Conforme o problema de pesquisa supracitado, o objetivo geral é propor um fator que indique o melhor uso da iluminação com base no Método dos Lumens, levando em consideração a luz natural. Dessa forma, a proposta estrutura-se nos seguintes objetivos específicos:

- Verificar a iluminância de um ambiente por meio de um luxímetro digital (sala de aula da UNIPAMPA-CB);

- Realizar um estudo luminotécnico através do Método dos Lumens (sem considerar a luz natural no recinto);
- Modelar o ambiente e simular as condições de iluminância na plataforma de simulação DIALux Evo®;
- Comparar os níveis de iluminância medidos com os valores calculados;
- Propor procedimentos metodológicos para o fator indicativo considerando o uso da luz natural;
- Avaliar sua aplicabilidade e calcular a redução de energia e redução de custos.

1.4 Justificativa e relevância

De acordo com PNE (2050), o plano de implementar ações voltadas à eficiência energética nos empreendimentos são satisfatórios visto os benefícios trazidos por estas ações como, por exemplo, conservação dos recursos naturais, os ganhos de competitividade e redução na emissão de poluentes locais e globais. PNE (2050) afirma ainda que dentre os principais desafios encontrados em ações de eficiência energética destaca-se a criação de cultura de preservação dos recursos naturais na sociedade onde diz:

Além do desenho de instrumentos setoriais específicos e transversais para promoção de eficiência energética, mecanismos que incentivem ações de gestão ativa da demanda por parte dos consumidores são parte importante da equação de redução de consumo de energia via uso eficiente da mesma. Nesse sentido, o componente de educação contribui para que a instalação de equipamentos eficientes, normas e regulações tenham perenidade através do comportamento de uso eficiente de energia por parte dos consumidores finais (PNE, 2050, p. 154).

O modo como utilizamos a iluminação, seja ela artificial ou natural, influencia na eficiência energética da edificação, na adequação a norma sobre iluminação de interiores, ABNT 8995-1, de acordo com a atividade ali realizada, no rendimento da atividade desempenhada, além de proporcionar menor ou maior conforto visual ao usuário. A combinação bem dosada da iluminação artificial mais a luz natural no ambiente pode garantir níveis satisfatórios de iluminância. A sugestão de uma iluminação balanceada é que a iluminação artificial seja utilizada de forma a completar a luz natural e nunca o contrário. Dessa maneira, garante-se a eficiência energética do sistema, bem como atinge-se uma boa qualidade da iluminação no

recinto. Além disso, proporciona aos usuários um conforto visual satisfatório uma vez que a luz natural é essencial para o correto funcionamento do nosso ciclo circadiano, além de ter um alto índice de reprodução das cores (LIMA, 2015).

Ao realizar um estudo luminotécnico que trate a eficiência energética do sistema de iluminação como um dos principais pontos de análise garante-se, além de uma adequada iluminação, a conservação dos recursos e a redução de gastos na fatura de energia elétrica. Isto é observado quando se deixa de acender uma lâmpada para utilizar a luz natural, por exemplo. A atenção com a conservação dos recursos naturais além de garantir um sistema elétrico mais eficiente, proporciona aos usuários desenvolver a cultura de praticar mais ações em benefício da eficiência energética e da sustentabilidade no cotidiano de modo a tornar o ambiente de trabalho mais saudável para a realização das atividades.

De acordo com Gutierrez (2018) a economia de energia é um fator importante nos estabelecimentos e os cuidados com a iluminação são preponderantes para o hábito de praticar eficiência energética. Dentre as possíveis práticas de eficiência energética, destacam-se a redução do consumo de energia elétrica, otimização dos custos energéticos e elevação da confiabilidade e da disponibilidade Creder (2016). Um exemplo amplamente conhecido dessas estratégias envolve a substituição de equipamentos por suas respectivas versões mais eficientes.

É recorrente que, ao adentrar em um ambiente mal iluminado há uma tendência de as pessoas acionarem alguma fonte de luz, seja ela artificial ou natural para que possa visualizar o espaço ao seu redor. Em um primeiro momento, se procura algum interruptor de acionamento de luminárias pela facilidade de acesso e comodidade. A luz natural pode ser utilizada abrindo janelas ou persianas. A postura de pretender iluminar o ambiente, faz com que o usuário acione as fontes de iluminação sem que, em um primeiro momento, seja levado em consideração a economia de energia ou a atenção com o nível de iluminação adequado para a atividade realizada no recinto.

A respeito do Método dos Lumens, identificou-se que é um procedimento de cálculo que aborda diversas características tanto do recinto (área e condições de limpeza), quanto do sistema de iluminação como as características das lâmpadas e das luminárias, porém não faz referência direta a utilização da Luz Natural em sua proposta.

Neste contexto, o propósito deste estudo é apresentar o desenvolvimento do Fator Indicativo de Eficiência Energética da Luz (FIEEL), que explora a Luz Natural e atende aos quesitos de conforto visual, conservação da energia elétrica e os princípios da luminotécnica. Assim, se propõe um processo metodológico que fundamenta o FIEEL e indica a melhor aplicação da iluminação com base no Método dos Lumens, levando em consideração a Luz Natural.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O **capítulo 1** é atual, traz informações gerais sobre o consumo energético e elétrico para iluminação no mundo, no Brasil e no setor público. Faz apontamentos sobre a conservação de energia no ambiente universitário. E além de mostrar como se procedeu a pesquisa bibliográfica, apresenta os objetivos e a justificativa da pesquisa.

O **capítulo 2**, aborda a revisão bibliográfica sobre luminotécnica, analisa as características quantitativas e qualitativas da Iluminação Artificial e natural, apresenta uma visão geral da Norma Brasileira vigente sobre iluminação de espaços internos e mostra os procedimentos dos cálculos luminotécnicos.

O **capítulo 3**, refere-se a metodologia do trabalho informando como se procedeu para que seja proposto o FIEEL.

O **capítulo 4**, apresenta o estudo de caso realizado. Informa características do recinto, medições realizadas, modelagem e simulação, aplicação do Método dos Lumens e propõe melhorias para este sistema a partir dos resultados.

O **capítulo 5**, finaliza o estudo apresentando conclusões correspondentes aos objetivos do trabalho, além de trazer o contexto que embasa a justificativa e traz propostas de estudos futuros.

Por fim, este trabalho termina mostrando no **apêndice** as tabelas com os valores das medições efetuadas e informações sobre os diversos tipos de lâmpadas e luminárias. Em anexo mostra a fatura de energia elétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Alguns conceitos gerais são relevantes para efetuar um estudo válido e permitir a condução no desenvolvimento desta proposta. Neste sentido, primeiro são evidenciados algumas pesquisas com caráter nivelado ao estudo aqui desenvolvido. Em seguida, são enunciados os princípios que regem um estudo luminotécnico, suas propriedades e características de forma a obter uma base literária confiável para avançar na pesquisa.

2.1 Pesquisas alinhadas ao tema proposto neste estudo

Bocchese (2011), desenvolveu em seu Trabalho de Conclusão de Curso um estudo sobre a otimização do aproveitamento da luz natural em uma escola municipal. Em sua proposta, utilizando o *software* Ecotect e baseada na NBR 5314 de 1992 sobre iluminação de interiores, Bocchese realizou um estudo luminotécnico na escola municipal localizada no município de Feliz, RS. Na ocasião, a referida identificou defasagens do sistema atual de iluminação artificial por meio de verificação computacionais, o que pode ser corrigida reorganizando a posição das luminárias. Bocchese previu também, a automatização do sistema de iluminação para atuar de acordo com a luz natural no interior da sala.

Silva (2011), realizou em sua dissertação de mestrado um estudo da viabilidade da substituição referente ao sistema de iluminação da Universidade de Coimbra - Portugal. Utilizando o *software* DIALux, o autor em posse de dados obtidos com medições *in loco*, pode comparar os sistemas de iluminação atual e o previsto com tecnologia mais avançada e assim, analisar a viabilidade econômica de tal atualização.

Moraes (2012), estudou em sua dissertação de Pós-Graduação a comparação entre diferentes luminárias em sistemas de iluminação artificial considerando a luz natural. A autora em posse do programa computacional Daysim, realizou seu estudo luminotécnico em escritórios na cidade de Florianópolis -SC. A citada, baseou-se em aspectos qualitativos de iluminação e quantitativos referente a

consumo energético prevendo a influência da iluminação natural nos ambientes estudados, além de examinar diferentes tipos de luminárias nestes locais.

Lucena (2015), desenvolveu em sua dissertação de Pós-Graduação um estudo de caso sobre a iluminação de salas de aulas da Universidade Federal da Paraíba em 2015 em que previa a integração da iluminação artificial à luz natural. Objetivando a redução do consumo energético pela avaliação da iluminação natural no ambiente interno da sala, este estudo foi baseado em simulações utilizando o *software* Daysim observando o método Fator de Luz do Dia e a autonomia da luz natural.

Santos SANTOS, Iara Gonçalves dos; AUER, Tomas; SOUZA, Roberta V. G (2017), em seu artigo publicado na plataforma digital *Scientific Electronic Library Online* - SciELO, analisou a otimização da iluminação natural no interior de construções localizadas em ambientes urbanos tropicais adensados. Os autores, através do método Autonomia Espacial da Luz Natural - sDA, realizou estudos luminotécnicos através do programa de simulação luminotécnica Daysim. Foi observado a influência da profundidade das construções na disponibilidade da luz natural e sua utilização nesses espaços.

Doulos *et al.* (2019). em seu artigo publicado pela Elsevier investiga a redução do consumo de energia da iluminação artificial utilizando LED em corrente contínua e a luz natural em uma típica escola pública da Grécia. Os autores a partir da análise do sistema de iluminação defasado tecnologicamente, propõem a substituição da lâmpada fluorescente por LED em corrente contínua de maneira a atuar junto com a luz natural. A metodologia adotada foi realizar a instalação e comparação entre sistemas de iluminação utilizando lâmpadas LED em corrente alternada e em corrente contínua para avaliar os consumos de energia de ambos sistemas eletrônicos. Também foi adotado o *software* Daysim para as simulações. Os estudos mostraram que a utilização do LED em corrente contínua atuando com a luz natural consegue uma redução de energia próximo a zero em períodos de utilização das salas durante o dia.

Francis (2019), em seu Trabalho de Conclusão de Curso, realizou uma análise de desenvolvimento de um sistema de controle para integração da iluminação artificial com a natural. O autor desenvolveu um *software* para integrar a

iluminação do dia a iluminação artificial de maneira eficiente. Foi utilizado dentre outras ferramentas de programação o Arduino. O trabalho foi desenvolvido em uma sala de aula da Universidade Federal de Santa Catarina com medições *in loco* dispondo de sensores de luminosidade em pontos estratégicos da sala.

Nascimento (2019), realizou um estudo a respeito do *retrofit* luminotécnico. Em sua monografia, a autora investigou a gestão da eficiência da iluminação artificial integrada à luz natural nos espaços internos. Baseada na NBR 8995-1 e por meio de simulações computacionais utilizando o DIALux Nascimento (2019) concentrou seu estudo em salas de uma empresa no período de construção localizada na cidade de São Paulo capital. Sendo assim, o trabalho fez um levantamento de estratégias de integração da iluminação artificial e natural em ambientes corporativos juntamente com a análise de processo de *retrofit*.

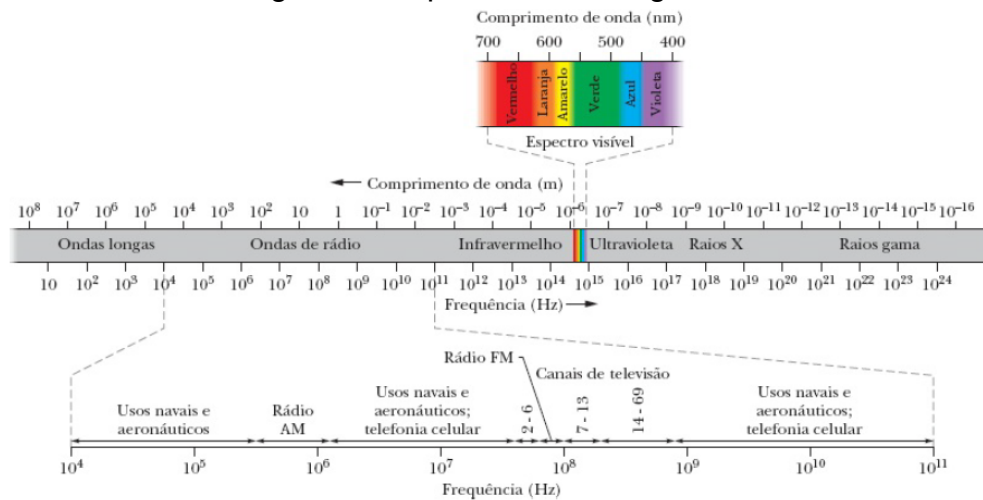
2.2 Principais fundamentos da luminotécnica

Luz

Uma onda eletromagnética formada pela interação entre um campo elétrico e um campo magnético que se propaga por diversos meios é o que se conhece como luz. A retina da vista humana é sensibilizada pelos comprimentos de onda que se situam entre o infravermelho e o ultravioleta. Este espectro de luz visível é uma curta parte de uma grande faixa com diferentes comprimentos de onda que pode ser ordenada de maneira crescente pelos raios gama até as ondas longas (HALLIDAY, 2016; MOURA, 2015).

A Figura 2, revela a extensa faixa com diferentes comprimentos de onda e frequências do espectro eletromagnético. Não há limites definidos para este espectro sendo que o conhecido é apresentado na Figura 2 (HALLIDAY, 2016).

Figura 2 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Halliday (2016).

Dentro da faixa do espectro onde o olho humano é sensibilizado é perceptível diferentes tonalidades de cores que são ditadas pelo comprimento de onda. (HALLIDAY, 2016). Para Osram (2009), a sensibilidade da percepção de cores do olho humano demonstra que:

[...]radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex: crepúsculo, noite etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário (OSRAM, 2009, p. 16).

Fluxo luminoso

O fluxo luminoso medido em lúmen (lm), representa a quantidade de luz que incide por segundo em uma área circular plana definida em 1 m^2 (CREDER, 2016; MOURA, 2015). Pode ser entendido como toda a luz visível que atravessa uma região circular de 1 m^2 por segundo. Osram (2009) descreve este fluxo como:

[...]a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados (380 e 780m). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento. É chamado também de “pacote de luz” (OSRAM, 2009, p. 19).

Intensidade luminosa

O raio de luz visível orientado em uma direção medido em candela (cd) é a intensidade luminosa (MOURA, 2015). O fluxo luminoso oriundo de uma fonte de luz espalha-se em todas as direções sendo que o lúmen irradiado em uma dada direção

pode ser representado por um vetor cujo comprimento indica a intensidade luminosa (OSRAM, 2009).

Iluminância

A iluminância é a relação direta entre o fluxo luminoso de uma fonte e a superfície que é atingida por este fluxo. Quando se estuda esta grandeza luminotécnica sua medição é feita em Lux (lx). Ainda pode-se entender como iluminância o fluxo luminoso irradiado por uma fonte luminosa que incide sobre a área de uma superfície (SILVA, 2011; CREDER, 2016).

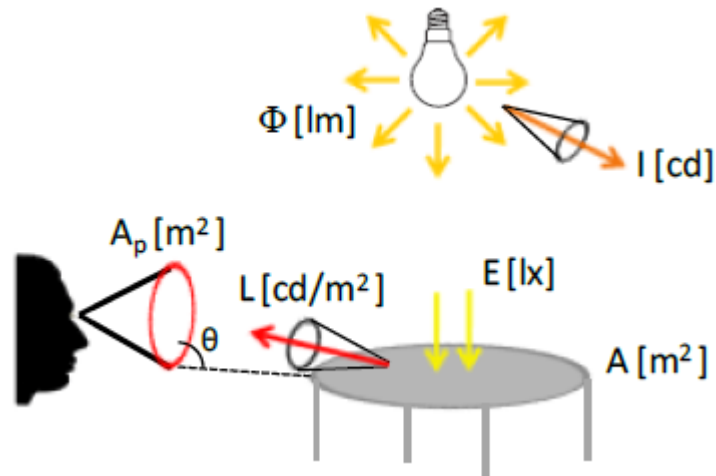
É interessante observar que alguns valores de iluminância típicos são: Dia ensolarado de verão em local aberto demonstra uma iluminância igual a aproximadamente 100.000 lx; Dia nublado demonstra uma iluminância igual a aproximadamente 5000 lx; Iluminação de escritório demonstra uma iluminância igual a 500 lx; Sala de estar ou hotel demonstra uma iluminância igual a 100 lx; Céu claro ao luar demonstra uma iluminância igual a aproximadamente 0,25 lx (ABNT, 2013; SIGNIFY, 2019).

Luminância

Entende-se por luminância a capacidade da visão humana ser sensibilizada pela reflexão de raios luminosos numa superfície. Sua unidade de medida é cd/m^2 (OSRAM, 2009). Pode-se dizer também que a relação da intensidade luminosa transmitida por uma superfície e a área aparente da mesma é a luminância. A capacidade que a visão humana apresenta em relação à percepção dos raios luminosos refletidos por um objeto e, dessa forma, identificá-lo é luminância (SILVA, 2011; OSRAM, 2009).

A Figura 3 apresenta os principais conceitos relacionados a luminotécnica.

Figura 3 - Principais propriedades fotométricas.



Fonte: SILVA (2011).

Onde:

Φ Representa o fluxo luminoso e sua unidade de medida em lúmen (lm);

I Representa a intensidade luminosa e sua unidade de medida em candela (cd);

E Representando a iluminância com unidade de medida em Lux (lx);

L Representa a luminância e unidade de medida candela por metro quadrado cd/m^2 ;

A_p Representando a área aparente medida em metros quadrado (m^2);

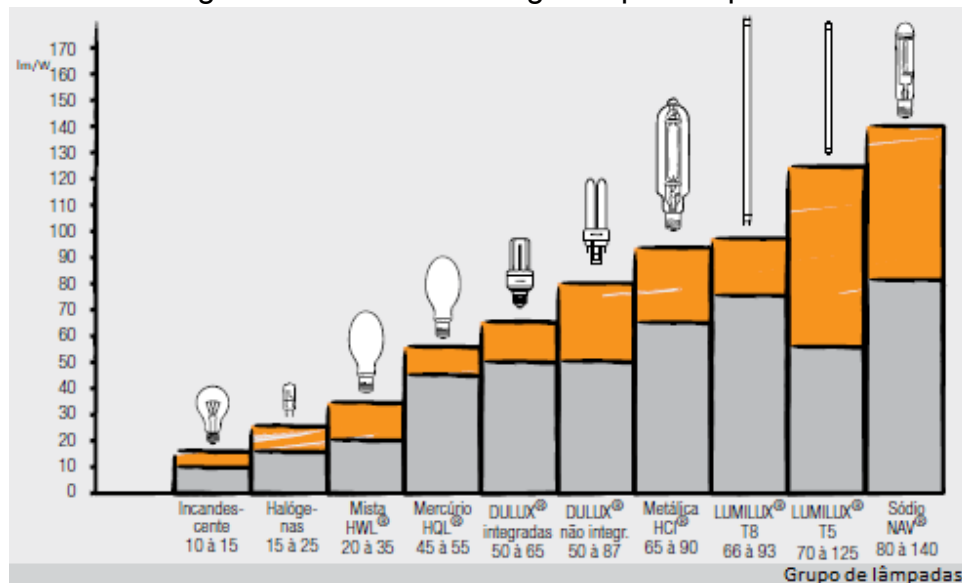
A Representando a área de uma superfície medida em metros quadrado (m^2);

θ Representa o ângulo entre o eixo ocular de um observador e o objeto.

Eficiência luminosa

A principal diferença encontrada entre as lâmpadas está em sua eficiência, em que é possível observar a relação entre o fluxo luminoso e a potência elétrica da lâmpada medida em Watt, sendo que sua unidade de medida é o lúmen por watt lm/W . Pode ser entendido como a relação dos lúmens emitidos pela lâmpada para cada Watt consumido (SILVA, 2011; CREDER, 2016). Nota-se a diferença de alguns tipos de lâmpadas e sua eficiência luminosa na figura 4.

Figura 4 - Eficiência energética por lâmpada.



Fonte: Osram (2009).

O eixo vertical indica a eficiência energética e a região hachurada em laranja representa a faixa de radiação de luz visível (OSRAM, 2009).

Temperatura da cor

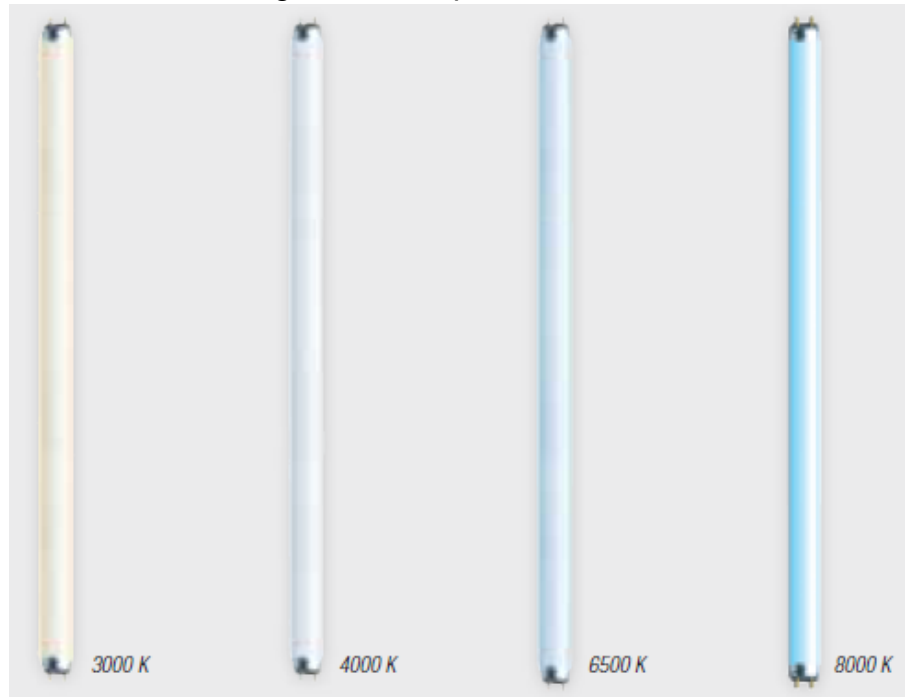
Para Fiorini (2006), a temperatura da cor pode ser entendida como uma característica de aparência da tonalidade de um objeto onde sua unidade de medida é o Kelvin (K). Fiorini ainda destaca que:

[...]As lâmpadas mais amareladas possuem baixa temperatura de cor, abaixo de 3000K. Já as lâmpadas com aparência tendendo ao azul violeta são de alta temperatura de cor, sendo superior a 6000K [...] (FIORINI, 2006, p. 15).

Nota-se que a temperatura da cor é uma característica própria da luz visível e nada tem influência com o seu rendimento (OSRAM, 2009).

A Figura 5, ilustra as tonalidades de luz visível para cada temperatura da cor.

Figura 5 - Temperatura da cor.



Fonte: Osram (2009).

A tonalidade da cor transmite às pessoas um efeito psicológico e físico de modo que a luz branca quente remete a ambientes tranquilos com conforto e intimidade, sendo indicada para salas de estar e quartos. Por outro lado, a luz branca neutra transmite vitalidade e concentração, sendo indicada para ambientes produtivos e de consumo, tais como restaurantes fast-food, centros comerciais, cozinhas e instalações sanitárias. A luz branca fria é indicada para locais onde se pretende dar a sensação de um ambiente mais limpo ou mais fresco como hospitais e instituições de ensino (SILVA, 2011).

Índice de reprodução da cor

O Índice de Reprodução da Cor (IRC) é uma propriedade das fontes de iluminação que indica a sua capacidade de restituir corretamente a cor ou as cores de um objeto ou superfície a serem iluminados. Quanto maior o grau de IRC mais fielmente a cor de um objeto está sendo apresentada (MOURA, 2015). Um mesmo objeto pode aparentar tonalidades diferentes quando submetidos a luzes diferentes. Por padrão estabelecido, o IRC é medido em função da luz natural que tem a reprodução da cor dos objetos totalmente fiel quando o valor é igual a 100 e menos fiel quando se aproxima a zero (OSRAM, 2009).

Figura 6 - Diferentes tipos de IRC (51%, 80% e 90%).



Fonte: Fadigas (2016).

Estas ponderações literárias básicas introduzem a abrangência de um estudo luminotécnico e abrem margem para prosseguir nos próximos tópicos. Para conceder mais credibilidade na pesquisa é necessário fazer uma breve abordagem sobre iluminação artificial e natural como é exposto a seguir.

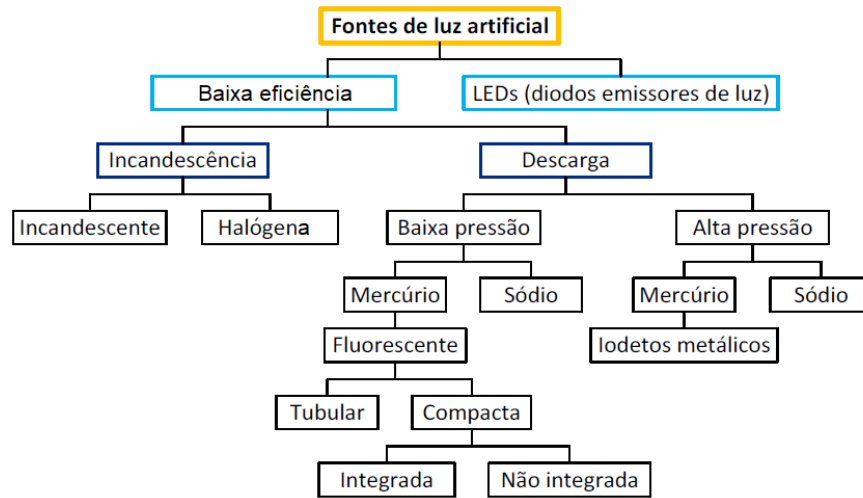
2.3 Iluminação artificial

O advento da iluminação artificial possibilitou às pessoas realizar diversas atividades em praticamente todos os ambientes independente da ausência de luz. A autonomia para a realização de tarefas em diversos horários foi uma conquista do uso deste tipo de iluminação. Outro ponto importante é o fato de que lâmpadas e luminárias possibilitaram uma constância da iluminação em um mesmo local independente da hora do dia (FADIGAS, 2016).

2.3.1 Lâmpadas e luminárias

As definições, características, tecnologias e usos de alguns dos principais e mais comuns modelos de lâmpadas e luminárias utilizadas nos diversos tipos de edificações podem ser encontradas no Apêndice B. A Figura 7 apresenta um fluxograma com algumas das fontes de luz artificial mais utilizadas.

Figura 7 - Classificação das fontes de iluminação artificial.



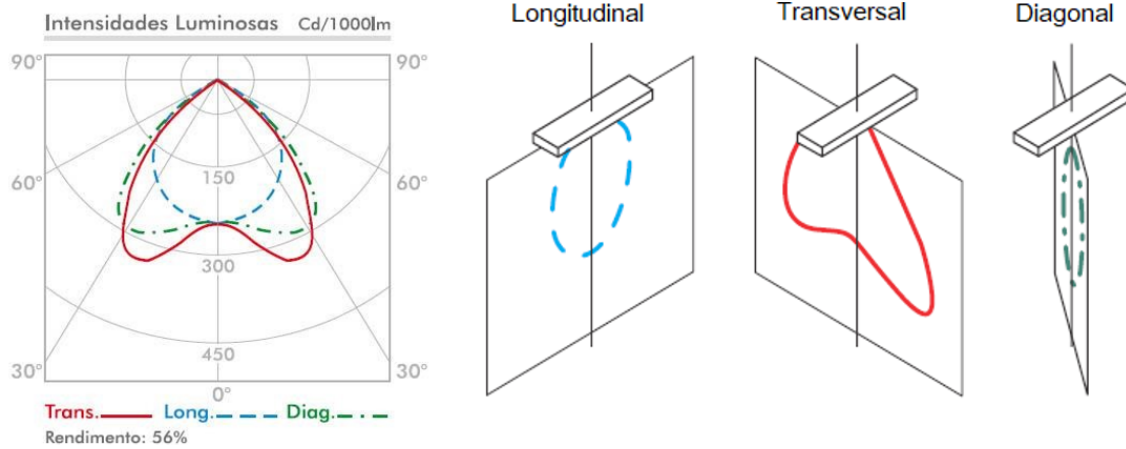
Fonte: Adaptada de Silva (2011).

Curva fotométrica e curva isolux

Pode ser entendida como curvas polares que descrevem o espaço percorrido pela intensidade luminosa em um ambiente a partir de uma fonte luminosa. A curva fotométrica é representada por um gráfico tridimensional que mostra a distribuição da luz no espaço e possui como variáveis a distância e a intensidade luminosa (VIVADECOR, 2020). Uma fonte de luz pontual, sem qualquer apoio ou suporte, produz uma curva fotométrica em formato esférico. Porém, como deve haver apoio para esta e qualquer outra fonte, a curva toma formas e dimensões diferentes (INNES, 2012).

Nesse contexto, luminária é um dos equipamentos fundamentais para alcançar o nível desejado de iluminação em uma determinada área. Sendo assim, o desempenho fotométrico está relacionado com a eficiência e a eficácia da luminária ao direcionar luz para o alvo desejado. O rendimento deste equipamento é determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada, da luminária e pela qualidade dos componentes de controle da luz (VIVADECOR, 2020). Um exemplo de diagrama com cortes nos planos transversal, longitudinal e diagonal é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Curva de distribuição de intensidade luminosa.



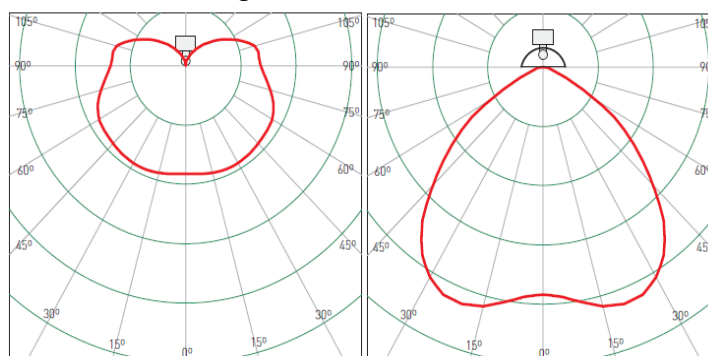
Fonte: Adaptada de Vivadecora (2020).

A Figura 8 mostra a distribuição da luz da luminária em três planos: eixo longitudinal da luminária (plano $C0^\circ - C180^\circ$), eixo transversal da luminária (plano $C90^\circ - C270^\circ$) e eixo diagonal (plano $C45^\circ - C225^\circ$).

Innes (2012), descreve que a lâmpada tubular fluorescente, por seu formato cilíndrico, é capaz de fornecer luz em 360° . Quando esta lâmpada é confinada numa luminária própria para ela, consegue refletir de forma indireta a luz que alcança a parte superior da luminária e é refletida para baixo, incorporando uma iluminação adicional para a área onde se deseja iluminar. Este fato, garante que o conjunto seja ideal para aplicação em ambientes educacionais.

A seguir é apresentado o diagrama polar de intensidade luminosa para duas situações. A Figura 9 mostra o plano de um corte transversal de uma luminária com uma lâmpada tubular fluorescente. À esquerda, uma lâmpada tubular fluorescente em uma luminária sem refletor polido. À direita, em uma luminária com refletor polido.

Figura 9 - Luminárias.

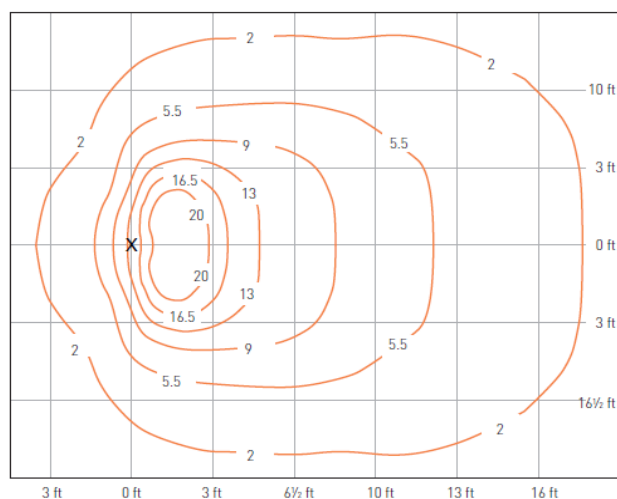


Fonte: Adaptada de Innes (2012).

A linha vermelha representa a intensidade da luz em um plano através do centro da luminária. Nessa imagem, nota-se como a luz se distribui pelo ambiente e a diferença entre os dois modelos de luminárias. Innes (2012) descreve ainda que à esquerda da Figura 9, o topo da curva é achatado, pois a luminária está interrompendo a luz para cima. Dessa forma, ela é refletida para baixo com um ângulo por volta de 30° graus da vertical. Já à direita da Figura 9, percebe-se a curvatura abrangendo uma área maior pois o refletor polido consegue direcionar boa parte da luz da parte superior da lâmpada para baixo. Nesse caso, a curva de intensidade vai até 60° graus da vertical.

Sobre as curvas isolux ou diagrama isolux, são diagramas que mostram os pontos em um plano que possuem a mesma iluminância. São utilizados para exibir a luz emitida por uma ou mais luminárias que iluminam uma superfície. A partir desta curva, determinam-se quantos luxes há sobre o plano de trabalho em função da distância em relação à luminária (INNÉS, 2012; OSETORELÉTRICO, 2012). A Figura 10 ilustra um exemplo de curva isolux.

Figura 10 - Curvas isolux.



Fonte: Innes (2012).

A partir da figura 10 observa-se que o X, localizado em (0;0) representa uma luminária. As linhas em vermelho são curvas em que cada uma representa a iluminação em lux que chega em um plano de mesma altura em relação a luminária (INNÉS, 2012).

Nesse sentido, o conjunto de conceitos fundamentais sobre luminotécnica e definições acerca da iluminação artificial apresentadas até aqui, colaboram para reforçar o propósito desta pesquisa pautada em eficiência energética na iluminação.

2.4 Luz natural

A luz solar fornece condições fundamentais para a realização de tarefas em locais abertos e fechados. Este último depende da forma de admissão da luz solar nestes ambientes internos. Em edifícios educacionais, a luz natural fornece a oportunidade para uma possível economia de energia elétrica pela combinação com a iluminação artificial, trazendo maior conforto visual quando controlada por equipamentos próprios a esta finalidade, além de permitir a identificação do período do dia (LIMA, 2015).

Disponibilidade de luz natural

No estudo da luz natural é essencial conhecer a forma como a luz é apresentada e de que maneira ela se dispõe no ambiente. Para isso, a ABNT de 2005 que descreve a respeito da luz natural, fornece informações importantes sobre as condições de céu ou abóbada celeste, vista por um observador situado na superfície terrestre.

Neste sentido esta normativa, classifica três tipos de céus em: Céu claro, Céu encoberto e Céu parcialmente encoberto ou intermediário. Para a condição de céu claro, dada a ausência de nuvens e baixa nebulosidade, as pequenas partículas de água fazem com que a porção azul do espectro, ou seja, ondas de curto comprimento, consigam emergir em direção a superfície da terra, conferindo a aparência azul do céu.

Desta maneira, a condição de céu encoberto ocorre quando as nuvens preenchem toda a superfície da abóbada celeste resultando em uma aparência da acinzentada-clara. Este fato ocorre em razão da reflexão da luz direta do sol em todos os comprimentos de onda quando atingem grandes partículas de água em suspensão na atmosfera. Já na condição de céu parcialmente encoberto ou intermediário, a luminância para um elemento qualquer será definida para uma dada

posição do sol sob uma condição climática intermediária entre a condição de céu claro e céu totalmente encoberto.

Ainda sobre as condições do céu, a norma registra a distribuição de luminâncias de acordo com cada uma destas condições em percentual. Desta forma, a cobertura é estimada visualmente pela observação do montante da cobertura de nuvens. Assim sendo, apresentam-se as seguintes escalas na tabela 2.

Tabela 2 – Escalas de céu.

Céu claro	0% a 35%
Céu parcialmente encoberto	35% a 75%
Céu encoberto	35% a 100%

Fonte: Adaptada de ABNT (2005).

Assim, a disponibilidade de luz natural no ambiente interno é um fator importante no desenvolvimento de projetos de edificação que pretendem aproveitar a luz natural. Para isso, a luz natural pode ser dividida em três componentes que são, a luz direta do sol, a luz difusa do céu e a luz indireta proveniente das superfícies iluminadas por outra fonte (LIMA, 2015).

A luz solar direta se caracteriza por ser uma fonte essencial de luz do sol. Porém, é irregular em ambientes internos e ilumina apenas uma parcela do local. De tal modo, pode provocar ofuscamento, contraste muito elevado e desconforto térmico. Para evitar estes efeitos, recomenda-se o uso de aparatos de controle da luz nos ambientes fechados.

Por sua vez, a luz difusa do céu ou luz proveniente da abóbada celeste produz uma iluminação não direcional relativamente livre de sombras e contrastes excessivos. A luminância do céu não é constante devido a fatores de posição solar, nuvens e composição da atmosfera que levam às mais diversas condições do céu e desta forma, definem a distribuição de luminâncias.

O entorno construído e a orientação das janelas também influenciam na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, e em relação a luz difusa, pode determinar uma quantidade maior ou menor desta nos espaços fechados.

LIMA (2015), ainda destaca sobre a componente de luz indireta proveniente das superfícies iluminadas por outra fonte. As características das superfícies são determinantes no reflexo para o ambiente. Fatores como a textura, cor e posição determinam quanto de luz será refletida de volta para o ambiente.

Avaliação da luz natural em interiores

A luz natural que ilumina espaços internos através de aberturas laterais, não apresenta um fluxo constante de luz. Assim, foram desenvolvidos alguns métodos que definem a capacidade de iluminar estes ambientes.

A determinação da luz natural em um ambiente é um método conhecido como Fator de Luz do Dia (FLD). O FLD é o percentual resultante da razão entre a iluminância em um ponto no plano de trabalho e a iluminância em uma superfície horizontal externa sem obstrução, ambas medidas no mesmo instante.

Lima (2015), completa ainda descrevendo que, este método não se aplica em algumas situações como variação da luz natural em função da hora, do ano e das diferentes orientações. Este fato ocorre, pois, este método utiliza apenas a condição de céu encoberto para determinar a iluminação em uma sala.

Daylight Autonomy (Autonomia da Luz do Dia) é outro método de avaliação da Luz Natural. Este método avalia previsões de iluminância a partir de dados climáticos anuais Lima (2015), descreve este método da seguinte forma:

A autonomia da Luz do Dia corresponde à porcentagem de horas ocupadas do ano em que no plano de trabalho possa ser mantido o limiar mínimo de 500 lx, sem complementação de fontes artificiais. Ou seja, indica dentro de um ambiente a área em que um nível mínimo de iluminância para uma determinada tarefa é mantida através da Luz Natural durante o ano e no horário em que o espaço é utilizado (LIMA, 2015, P. 30).

Lima (2015), comenta que este método apresenta algumas limitações como: não leva em consideração a iluminância que está abaixo do limiar estabelecido e com a iluminância acima do limiar que pode causar desconforto para os usuários.

Outro método, porém, mais completo sobre a variação da iluminância é Iluminância Útil de Luz Natural - IULN. Este método pode abranger grande faixa de níveis de iluminância pois é obtida através da frequência de ocorrência dos níveis de luz natural dentro de determinados intervalos. Lima (2015) comenta que esta metodologia utiliza faixas de iluminância da luz natural que são:

1. De 100 a 2.000 lx, as iluminâncias estão dentro do intervalo útil;
2. Inferior a 100 lx, as iluminâncias estão inferiores ao intervalo útil;
3. Superior a 2.000 lx, excede o intervalo útil.

A partir destes intervalos, pode-se estabelecer níveis adequados de iluminância de luz natural nos ambientes internos. Níveis de iluminâncias dentro do intervalo definido em 1, de acordo com a tarefa realizada no local, é definido como útil. Níveis abaixo como definido em 2, podem ser prejudiciais à percepção visual dos ocupantes, assim, a iluminância pode ser complementada com iluminação artificial. E os níveis acima de 2.000 lx, podem causar desconforto térmico e ofuscamento. O Autor ainda destaca que níveis dentro da faixa de 100 a 500 lx as iluminâncias são eficazes sendo uma fonte de iluminação ou em combinação com o sistema artificial de iluminação e os níveis entre a faixa de 500 a 2.000 lx, considera-se com níveis de iluminância desejáveis ou toleráveis.

A partir destas ponderações, pode-se perceber a importância que a luz natural desempenha nas atividades cotidianas das pessoas. Uma vez que se admite a luz natural no interior de edificações com o objetivo de iluminar os espaços, cria-se a oportunidade de praticar eficiência energética contribuindo, desta forma, com a conservação dos recursos naturais.

Adiante, se faz uma abordagem sobre normativas referente a iluminação de interiores, reforçando os níveis recomendados para que as atividades sejam desempenhadas com conforto e desempenho visual.

2.5 Visão geral de normativas sobre iluminação

Para todo e qualquer empreendimento onde necessite de iluminação artificial interna, é essencial que a iluminância esteja de acordo com as normas técnicas para um melhor aproveitamento do iluminamento no ambiente. A ABNT de 2013, que trata sobre iluminação de interiores, apresenta uma tabela com requisitos para o planejamento da iluminação para diversos ambientes e atividades.

A disposição destes requisitos é apresentada em uma tabela da seguinte maneira: Primeira coluna, lista de ambientes, tarefas ou atividades; segunda coluna, Iluminância mínima; terceira, índice de ofuscamento; a quarta apresenta o IRC adequado e por fim, a quinta coluna expõe algumas observações. Vale destacar que a ABNT (2013) estabelece “Em” como Iluminância mantida ou a mínima iluminância na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade. “UGRI” como índice de ofuscamento limite aplicável para a cada situação. “Ra” como o índice mínimo de reprodução da cor ou qualidade da cor.

A seguir, a Tabela 3 apresenta apenas os requisitos para o planejamento da iluminação em ambientes educacionais, que é o foco deste trabalho.

Tabela 3 - Requisitos para o planejamento da iluminação.

Construções educacionais	Em (LUX)	UGR L	R a	Observações
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aula particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lx.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	Tcp > 5000 K.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 984.

Fonte: Adaptada de ABNT (2013).

Para um sistema de Iluminação Artificial, é essencial que projetos luminotécnicos atendam ao critério de conforto visual e redução do ofuscamento. Para isso, a ABNT (2013) define critérios de ângulos de corte para determinadas luminâncias. Sendo que, o ângulo de corte é o fecho luminoso medido a partir do plano horizontal abaixo da luminária, o qual, a lâmpada é protegida da visão direta de um observador e ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão de um observador (ABNT, 2013).

Tabela 4 - Ângulos de corte para níveis de luminâncias.
Luminância da lâmpada Kcd/m² **Ângulo de Corte**

1 a 20	10°
20 a 50	15°
50 a 500	20°
≥500	30°

Fonte: Adaptada de ABNT (2013).

A ABNT (2013), considera uma escala para o Índice de Ofuscamento Unificado UGR onde os valores-limites de UGRI na tabela 3 foram obtidos na escala UGR, em que cada passo na escala representa uma mudança significativa no efeito do ofuscamento e 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível.

A escala UGR é: 13 – 16 – 19 – 22 – 25 – 28.

Um outro fator importante a ser considerado em cálculos luminotécnicos é o Fator de Manutenção onde considera a depreciação do fluxo luminoso das luminárias por diversos motivos. Como exemplo a sujeira depositada na superfície dos objetos no recinto e na luminária, tempo de sobrevivência das lâmpadas, etc. A seguir apresenta-se a tabela com alguns valores padronizados pela ABNT.

Tabela 5 – Exemplos de fatores de manutenção.

Fator de manutenção	Exemplo
0,80	FMFL = 0,93; FSL = 1,00; FML = 0,90; FMSS = 0,96
0,67	FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90
0,57	FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,74; FMSS = 0.83
0,50	FMFL = 0,93; FSL = 0,93; FML = 0,65; FMSS = 0,94

Fonte: Adaptada de ABNT (2013).

Moraes (2012) traz a informação sobre níveis aceitáveis de iluminância de acordo com a Norma. Baseado na iluminância mantida de 500 lx, definiu-se intervalos com 5 zonas de classificação. O critério adotado foi de 70% da iluminância

média para o limite inferior e 130% para o superior, ou seja, para a iluminância média de 500 lx é aceitável uma faixa de 350 a 650 lx.

Ainda sobre as zonas, foram definidas as subdivisões: insuficiente, de transição superior, sem transição inferior e excessiva como podem ser observadas abaixo pela Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação das zonas por intervalo de iluminância.

Intervalo de iluminância	Zona	Classificação
< (70% Em – 50 lx)	Insuficiente	Ruim
(70% Em – 50 lx) a 70% Em	Transição inferior	Regular
70% Em a 130%Em	Suficiente	Aceitável
130%Em a 1.000 lx	Transição superior	Bom
> 1.000 lx	Excessiva	Ruim

Fonte: Moraes (2012).

Aqui, se verificou que ao lidar com projetos de iluminação, é requerido um determinado domínio sobre luminotécnica para que não sejam cometidos erros, visto as especificações recomendadas pela norma brasileira. A partir disso, no próximo capítulo se encaminha o estudo sobre métodos de cálculo luminotécnico os quais são relevantes uma vez que o atendimento aos objetivos desta pesquisa, percorre tais procedimentos de cálculo.

2.6 Métodos de cálculos luminotécnicos

Quando se discute sobre cálculos luminotécnicos *Illuminating Engineering Society* - IES (2011), expõe três variáveis que são objetivos destes cálculos. Cálculo da iluminância, cálculo da luminância e o cálculo do fluxo luminoso. IES (2011) ainda descreve que todos estes cálculos envolvem as propriedades fotométricas da fonte de luz, propriedades do material das superfícies onde o cálculo luminotécnico é aplicado e a geometria dos objetos que compõem o ambiente incluindo o próprio ambiente. Toledo (2008), comenta que quando se trata de avaliação da iluminação artificial, métodos matemáticos e programas de simulação computacional são os mais utilizados.

Neste estudo, a pesquisa se concentra no cálculo da iluminância e do fluxo luminoso, pois são as variáveis de maior interesse nos cálculos luminotécnicos dos mais variados tipos de empreendimentos sendo que, aqui, a pesquisa é voltada a um estabelecimento de ensino. No capítulo atual, discute-se sobre os três métodos

de avaliação da iluminação mais utilizados sendo que Fiorini (2006), diz que o método dos lumens é o método analítico mais difundido por projetistas de iluminação de interiores.

2.6.1 Método de cálculo pelos lumens

O método dos lumens, como dito anteriormente, é o método de cálculo luminotécnico mais utilizado em projetos de iluminação de espaços internos. A utilização deste método é realizada para determinar a quantidade de luminárias que serão necessárias para atender ao critério de iluminância estabelecido por normas de acordo com a atividade que será desenvolvida no ambiente de estudo em questão (TOLEDO, 2008).

Neste trabalho, como o estudo envolve medições luminotécnicas em uma sala de aula universitária voltada à educação de adultos e baseado na referência Normativa Brasileira vigente sobre iluminação no interior de ambientes de trabalho, o ideal é que o nível de iluminância médio esteja em 500 lx. Para isso, a seguir, de acordo com IES (2011) e Creder (2016), é apresentada a forma analítica deste cálculo.

Para este método são apresentadas as seguintes expressões:

$$E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot d}{S} \quad (1)$$

Ou reorganizando as variáveis,

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{\mu \cdot d} \quad (2)$$

Onde:

Φ = Fluxo luminoso total em lumens;

E = Iluminância ou nível de iluminamento em lux;

S = Área do recinto em m²;

μ = Coeficiente de utilização;

d = Fator de depreciação ou manutenção.

O nível de iluminação (E) tem valor definido pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. A área do recinto (S) equivale ao produto da largura pelo comprimento do recinto.

Para o coeficiente de utilização (μ) que é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pela luminária, Fiorino (2006), comenta que este coeficiente pode ser obtido nas tabelas fornecidas pelos fabricantes ou utilizando o sub-método conhecido como Método das Cavidades Zonais. Segundo Toledo (2008), este método determina a Razão da Cavidade Local (RCL) que, em posse das tabelas contendo os valores de μ em função do RCL, fornecida pelos fabricantes, cruzam-se estes valores para chegar ao coeficiente de utilização. O Método das Cavidades Zonais será abordado com mais detalhes no próximo tópico.

Uma última variável, porém, não mesmo importante a ser considerada nos cálculos luminotécnicos é o fator de depreciação ou manutenção (d) que corresponde à relação entre a iluminância mantida e o nível de iluminância, quando o sistema de iluminação for novo (ABNT, 2013). A manutenção do sistema de iluminação é essencial para manter o desempenho do sistema dentro dos padrões de projeto e prover segurança e o uso eficiente da energia (CIE 97, 2005). A ABNT (2013) em conformidade com a *Commission Internationale de L'éclairage* - CIE 97 (2005), introduz uma expressão que leva em consideração alguns subfatores a serem julgados na determinação de d . Assim, segue a equação abaixo.

$$d = FMFL \cdot FSL \cdot FML \cdot FMSS \quad (3)$$

Onde:

d = Fator de depreciação ou manutenção;

$FMFL$ = Fator de manutenção do fluxo luminoso;

FSL = Fator de sobrevivência da lâmpada;

FML = Fator de manutenção da luminária;

$FMSS$ = Fator de manutenção da superfície da sala.

Sendo que, sobre estes subfatores a ABNT (2013) descreve: $FMFL$ considera a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada; FSL considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada; FML considera os efeitos de redução do fluxo luminoso

devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias e *FMSS* considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala. Ainda segundo a ABNT (2013), o *FMFL* e o *FSL* podem ser obtidos nos catálogos dos fabricantes, porém, todos estes subfatores também, podem ser encontrados em curvas e tabelas de valores-padrão médio na CIE 97 (2005). Como valores de referência, a ABNT (2013) apresenta uma tabela com valores para o fator de manutenção. Esta tabela pode ser consultada no capítulo anterior: *Tabela 5 - Exemplos de fatores de manutenção*.

Fiorino (2006), apresenta uma expressão, representada a seguir, para o cálculo determinando a quantidade de luminárias ideal a serem utilizadas no recinto com base no fluxo luminoso das lâmpadas.

$$N_{lum} = \frac{\Phi}{N_l \cdot \varphi} \quad (4)$$

Onde:

N_{lum} = Número de luminárias;

N_l = Número de lâmpadas por luminária;

φ = Fluxo luminoso de cada lâmpada.

Por fim, para determinar a iluminância média alcançada no recinto em que já existe um número fixo de luminárias e lâmpadas e assim poder verificar se está de acordo com a ABNT (2013), adiante se apresenta o cálculo de controle da iluminância onde, reorganizando os termos da equação (4) na equação (1), chega-se a seguinte expressão:

$$E = \frac{N_{lum} \cdot N_l \cdot \varphi \cdot \mu \cdot d}{S} \quad (5)$$

Alguns apontamentos sobre o método dos lumens precisam ser levados em consideração. Como objetivo principal deste trabalho destaca-se que, este método da avaliação da iluminação nos espaços internos não leva em conta a luz natural oriunda de aberturas onde possa se ter uma visualização dos espaços externos à construção e por onde se admite a luz do sol e do céu. De acordo com IES (2011), este método apresenta a limitação de aplicação em espaços onde a distribuição das

luminárias deve ser uniforme, para que a iluminância média se mantenha constante para todo o recinto.

Além disso, o cálculo do coeficiente de utilização considera ambientes vazios com superfícies que exibem perfeita reflexão difusa Toledo (2008). Para Creder (2016), os espaçamentos das luminárias devem obedecer aos critérios estabelecidos na Figura 37: *Espaçamento das luminárias*. Estes critérios são adotados de acordo com o modelo de luminária escolhida para o projeto luminotécnico.

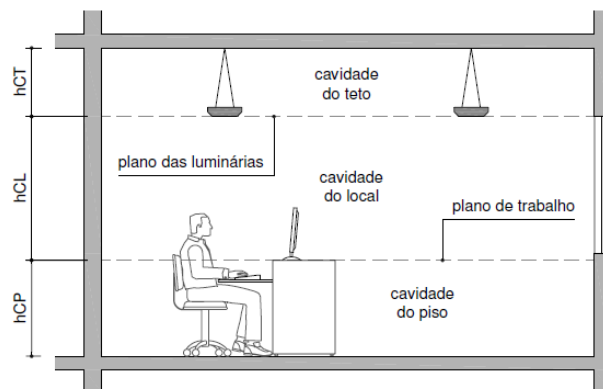
2.6.2 Método de cálculo pelas cavidades zonais

Para Toledo (2008), este é um sub-método utilizado em conjunto ao Método dos Lumens e tem por objetivo calcular o coeficiente de utilização da luminária selecionada para o projeto. A aplicação deste método deve ser realizada a partir da divisão do recinto em cavidades. Estas cavidades são denotadas da seguinte maneira:

- Cavidade do piso: compreende a região do piso e a porção inferior das paredes, logo abaixo da altura do plano de trabalho;
- Cavidade do teto: compreende a região do teto e a porção superior das paredes, logo acima do limite inferior das luminárias;
- Cavidade do local: que compreende a porção mediana das paredes, resultante das porções inferior (cavidade do piso) e superior (cavidade do teto).

A Figura 11 ilustra as cavidades do recinto.

Figura 11 - Cavidades do método das cavidades zonais.



Fonte: Toledo, 2008.

Nesta imagem se traduz, hCT é a altura para a razão da cavidade do teto (RCT), hCL é a altura para a razão da cavidade do local (RCL) e hCP é a altura para a razão da cavidade do piso (RCP).

Um índice denominado de Razão do Recinto (*RC*), relaciona a partir das dimensões do recinto a radiação luminosa trocada entre os espaços inferior e superior (TOLEDO, 2008). A equação que demonstra esta relação é apresentada a seguir.

$$RC = \frac{5h(LC + CC)}{LC \cdot CC} \quad (6)$$

Onde:

RC = Razão do recinto;

h = Altura da cavidade em metros (distância da luminária até o plano de trabalho);

LC = Largura da cavidade em metros;

CC = Comprimento da cavidade em metros.

Segundo Toledo (2008), a equação (6) se aplica a recintos retangulares. Agora para ambientes irregulares, recomenda-se utilizar a seguinte fórmula:

$$RC = \frac{2,5h \cdot h \cdot PC}{A} \quad (7)$$

Onde:

PC = Perímetro da cavidade em metros;

A = Área da base da cavidade em m².

A partir do valor da razão do recinto, é indicado realizar uma busca nas tabelas de informações técnicas das luminárias com o valor de μ . Segundo Toledo (2008), os fabricantes disponibilizam valores típicos para μ em função do RC.

Toledo (2008), ainda afirma que existem fabricantes que trabalham com outro índice chamado de índice Local (*K*). Logo as tabelas disponibilizadas pelos fabricantes trazem as informações sobre os valores de μ em função de *K*. A seguir apresenta-se a expressão que relaciona o índice *K* com as informações das dimensões da cavidade do recinto.

$$K = \frac{LC \cdot CC}{h(LC + CC)} \quad (8)$$

Onde o K é o índice da cavidade local.

Segundo Manual Luminotécnico da Osram (2000), em posse deste índice, procura-se nas tabelas do fabricante da luminária, um valor para o índice do recinto, com as características do ambiente. Com este índice, multiplica-se pela eficiência da luminária para obter o coeficiente de utilização μ apresentado na equação (9).

$$\mu = h_r \cdot h_l \quad (9)$$

Onde:

h_r = Índice do recinto;

h_l = Eficiência da luminária.

Como este método de cálculo não é motivo deste estudo e apenas complementa o Método dos Lumens, aqui se apresentou apenas características básicas de forma simplificada. Segundo Toledo (2008), o método das cavidades zonais é indicado para luminárias montadas diretamente no teto. Para luminárias pendentes é recomendado a consulta do manual de iluminação da IES (2011).

2.6.3 Método de cálculo da iluminação ponto a ponto

Este método de cálculo luminotécnico se aplica a fontes pontuais de iluminação onde a superfície iluminada não atende aos padrões de iluminância e para isso, deve-se analisar especificamente esta área (TOLEDO, 2008). Baseado na lei de Lambert, o método ponto a ponto, analisa a iluminância de uma superfície que varia na razão inversa do quadrado da distância da fonte luminosa. Creder (2016), faz a seguinte explanação sobre este método:

A iluminância produzida em um ponto de uma superfície é proporcional à intensidade luminosa da fonte na direção da superfície, proporcional ao cosseno do ângulo de incidência que o raio luminoso faz com a normal ao plano e inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte à superfície (CREDER, 2016, p. 423).

Para fontes luminosas pontuais diretamente sob a superfície iluminada onde o raio luminoso incide perpendicularmente nesta área, Toledo (2008), apresenta a seguinte função:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (10)$$

Onde:

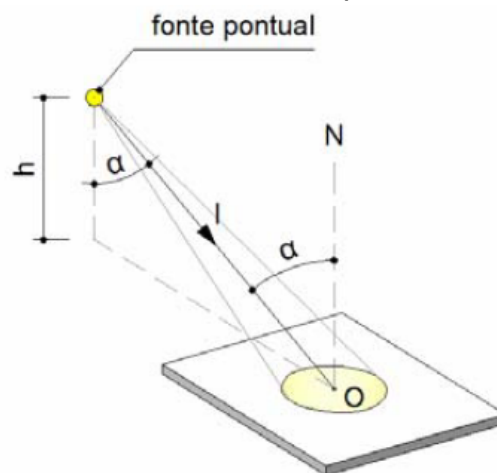
E = Iluminância em lux;

I = Intensidade luminosa da fonte em candelas (cd);

d = Distância da fonte luminosa ao ponto em metros.

Porém, na maioria dos casos a fonte não está posicionada diretamente acima da superfície como pode ser observado na imagem seguinte.

Figura 12 - Fonte luminosa pontual.



Fonte: Toledo, 2008.

Nesta situação nota-se que a fonte luminosa se situa num ponto não perpendicular à superfície fazendo um ângulo maior que zero com a normal do plano. Sendo que para esta situação é recomendado ajustar a equação 9 baseando-se no efeito cosseno (lei de Lambert). Desta maneira Toledo (2008), indica a utilização da expressão 10.

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

Onde:

α = Ângulo entre a normal e o eixo do fluxo luminoso (I).

Segundo Toledo (2008), a intensidade luminosa pode ser obtida nas curvas fotométricas disponibilizadas nos catálogos dos fabricantes. Assim como nos demais, este método de cálculo luminotécnico apresenta algumas limitações. Para se evitar erro superior a 5% recomenda-se que a distância da fonte à superfície não seja inferior a cinco vezes o comprimento físico da fonte para se garantir a precisão nos cálculos, afirma Toledo (2008). É de se destacar também que toda a luz refletida pelas superfícies adjacentes é excluída do cálculo o que acarreta numa imprecisão dos cálculos.

Diante disso, a temática sobre luminotécnica está vinculada à eficiência energética e ao rendimento das ações humanas. Percebe-se que ao lidar com a iluminação de interiores, é necessário dispor de conhecimentos sobre cálculos que envolvem grandezas luminotécnicas, atentar às diversas exigências normativas na configuração e intensidade na iluminação além de satisfazer o conceito de eficiência e conservação de energia.

Sendo assim, a seguir, a metodologia desta pesquisa, baseada nas ponderações citadas acima, apresenta o processo dos passos adotados para o cumprimento dos objetivos.

3 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Com objetivo de sugerir o Fator Indicativo de Eficiência Energética da Luz (FIEEL) baseado no método dos lumens e na luz natural, são necessários alguns passos os quais estão representados no fluxograma na Figura 13.

3.1 Etapas do processo metodológico

Primeiro é necessário verificar a iluminância do ambiente por meio de um luxímetro digital conforme representado pelo bloco número 1 no fluxograma. As medições devem contemplar três diferentes períodos do dia, observando nas anotações a condição do céu. Também deve ser coletado dados com diferentes situações de luminosidade no recinto como por exemplo: somente com a iluminação artificial; somente com a luz do dia; integrando a iluminação artificial com a luz natural.

Em segundo, como representado no bloco de número 2, realiza-se um estudo luminotécnico através do método dos lumens que não considera a luz natural no local. A partir desse estudo, é determinado o número adequado de luminárias para o recinto caso ainda não tenham sido instaladas, o qual pode ser visto no bloco de número 4.

Paralelamente, no bloco de número 3, compara-se a média aritmética dos níveis de iluminância observados com o luxímetro e o valor resultante do cálculo pelo método dos lumens. Nesta parte da investigação, são levantadas algumas diferenças de comparações para as situações distintas de iluminação do recinto e os distintos períodos do dia.

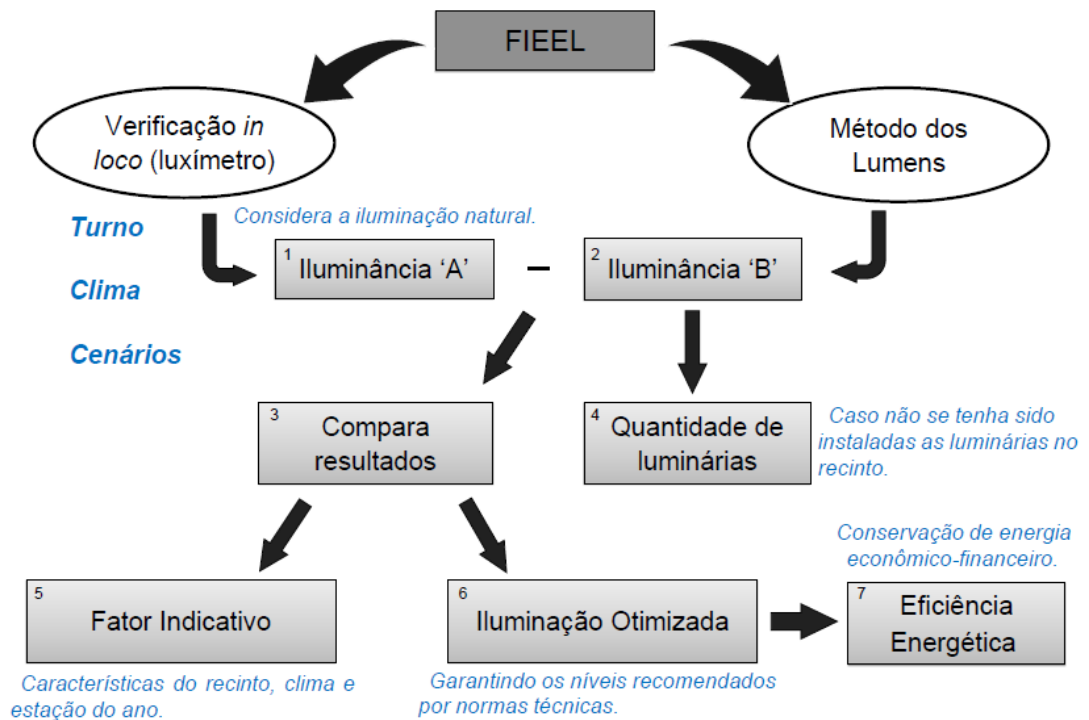
A partir das diferenças constatadas, o bloco de número 5 representa o fator que recomenda o melhor uso da iluminação do espaço, levando em conta a luz natural, assim como a verificação de oportunidades de desligamento de luminárias.

Por fim, os blocos de números 6 e 7 caracterizam respectivamente como a iluminação pode ser otimizada a partir dos passos adotados e, vinculado a este aprimoramento, atinge-se a eficiência energética do sistema, satisfazendo a conservação de energia e redução de custos financeiros.

Cabe salientar que o método proposto foi desenvolvido apenas para cenários com características similares às de sala de aula universitária, bem como depende

das coordenadas da edificação. Para outros ambientes com dimensões, características e coordenadas diferentes, o estudo do FIEEL deve ser refeito pelo projetista. Na Figura 13, é apresentado um fluxograma instruindo cada passo desta proposta.

Figura 13 - Fluxograma geral da metodologia.



Fonte: Autor, 2021.

3.2 Proposta para validação do FIEEL

A proposta deste fator é aplicada em ambientes onde a área relativa da janela em relação a parede a qual foi instalada, o seu posicionamento em relação ao norte geográfico e as coordenadas da edificação são parecidas com as estudadas nesta pesquisa. Nesse sentido, o propósito é informar como o usuário pode utilizar a iluminação a fim de manter o conforto visual em conformidade com a literatura, garantindo nessas ações a eficiência energética. Sendo assim, pretende-se integrar à luz natural a iluminação artificial.

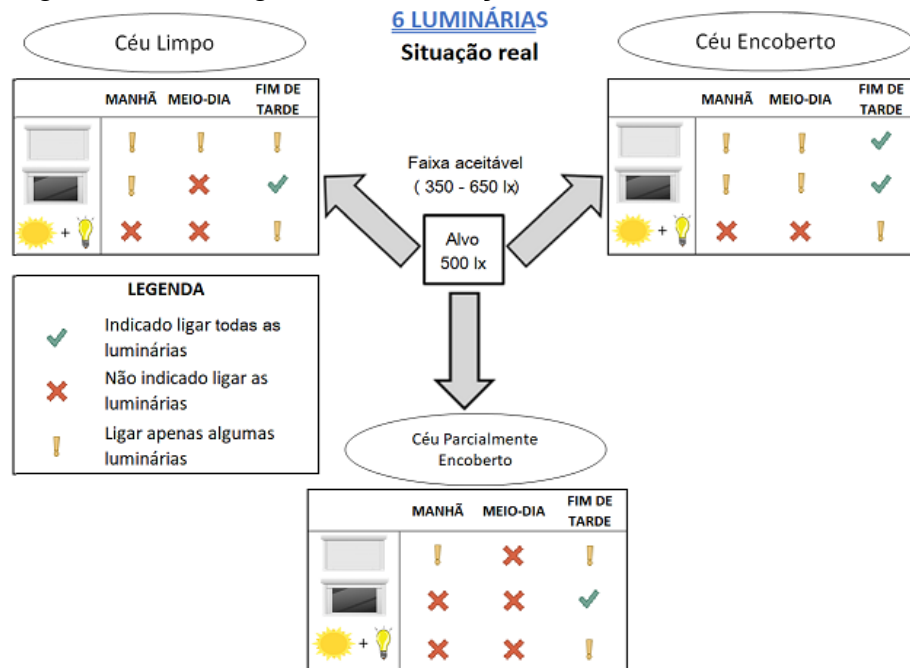
Nesta sugestão, para as condições vigentes baseadas na normativa sobre iluminação de interiores, o alvo de iluminância a ser alcançado é 500 lx. O FIEEL pretende reduzir tanto quanto for possível a utilização da iluminação artificial para

que ela complemente a luz natural a fim de se manter uma relação de proporcionalidade em que o total final seja 500 lx. A Tabela 6 apresenta os níveis aceitáveis de iluminância. Com caráter sugestivo, o FIEEL será avaliado e implementado a partir das condições de iluminância do céu. O desenvolvimento desta metodologia está baseado em instalações já realizados com características construtivas similares a sala onde foi realizado o estudo de caso o qual será abordado no próximo capítulo. Caso estas variáveis sejam diferentes, o fator desenvolvido não irá representar a influência da Luz Natural.

A seguir, são apresentados nas Figuras 14 e 15 os fluxogramas elaborados que implementam o FIEEL. Destaca-se que a Figura 14 conta com seis luminárias que representam a situação real do local de estudo. Já a Figura 15 conta com dez luminárias referente ao cálculo através do método dos lumens que, utilizando o mesmo sistema de luminárias, prevê dez equipamentos para atender o nível adequado de iluminância. Cabe salientar que, o *check* “V” em verde sugere que todas as lâmpadas devem ser ligadas. Isto ocorre quando a diferença entre os níveis de iluminância está abaixo do limite inferior da faixa (350 lx) definida na Tabela 6. O “X” em vermelho sugere que todas as lâmpadas devem ser desligadas. Isto ocorre quando a diferença entre os níveis de iluminância está acima do limite superior da faixa (650 lx) referente a Tabela 6. E o ponto de exclamação “!” em amarelo sugere que apenas algumas lâmpadas devem ser ligadas. Cabe aos usuários decidir qual grupo de lâmpadas ligar nesta situação, mediante informação obtida a partir do FIEEL.

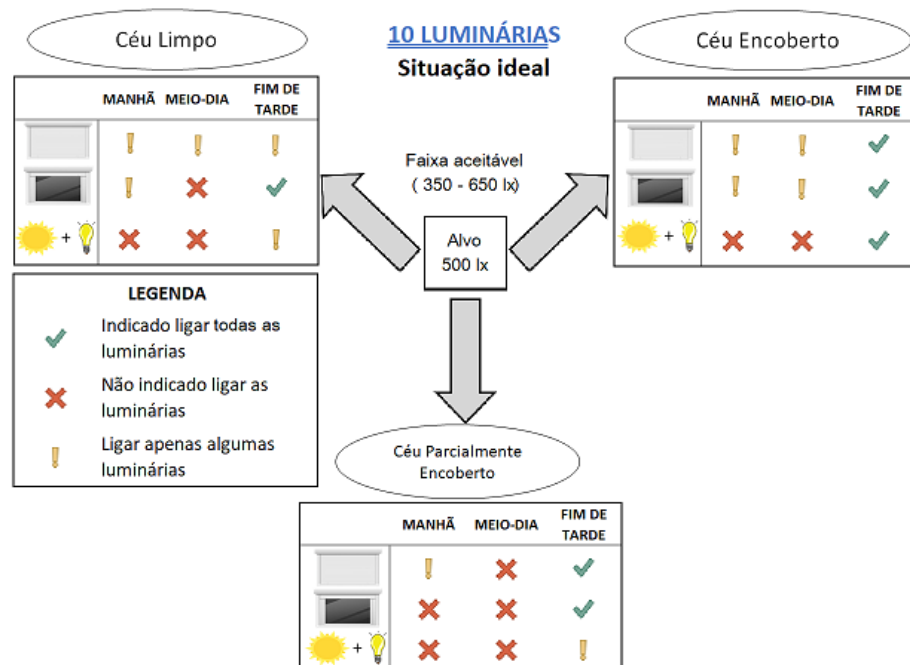
É importante destacar que nos quadros dos fluxogramas são mostradas: a) imagens de uma janela com persianas fechadas (representando a iluminação artificial); b) janela com persianas abertas (representando a iluminação natural) e; c) a iluminação natural mais a artificial, caracterizada pela figura do sol, mais a lâmpada que representa a influência da luz do dia mais a iluminação artificial no interior da sala.

Figura 14 - Fluxograma de indicação considerando 6 luminárias:



Fonte: Autor, 2021.

Figura 15 - Fluxograma de indicação considerando 10 luminárias:



Fonte: Autor, 2021.

A análise destes fluxogramas leva a algumas constatações. Nos quadros (Céu limpo; Céu Parcialmente Encoberto; Céu Encoberto), podemos observar que existem determinados períodos do dia que não há a necessidade de utilizar todas as

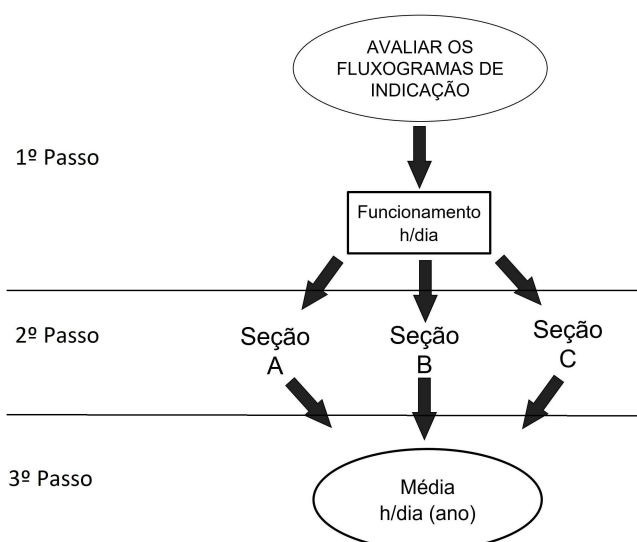
lâmpadas ou parte delas para iluminar a sala de aula. Esta constatação se baseia na diferença entre as medidas realizadas e o método dos lumens com a faixa aceitável de iluminância (350 lx – 650 lx).

Para avaliar a aplicabilidade do FIEEL e constatar a redução de gastos energéticos e financeiros, é importante estimar o período de utilização da iluminação artificial. Sendo assim, pode-se verificar o período de tempo na utilização da iluminação artificial após ações de instrução onde as pessoas serão indicadas por meio de *flyers* informativos dispostos estrategicamente nas salas de aulas e debates com a comunidade acadêmica sobre mudanças de hábito que conduzem a uma conservação dos recursos naturais. A partir destas ações pode-se analisar a conduta das pessoas, observando como pretendem utilizar a iluminação nas salas e assim, contabilizar as horas de uso da iluminação artificial para posterior análise de consumo de energia elétrica.

3.3 Definição da estimativa de uso

Em uma situação em que não há a possibilidade de implementação na prática como por exemplo, no atual momento de crise sanitária global, para a contabilização das horas de funcionamento a partir da aplicação do fator é recomendado basear-se na composição das Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Fluxograma dos três passos:



Fonte: Autor, 2021.

Se adotou três passos para estipular a quantidade de horas no ano ideal para utilizar a iluminação artificial.

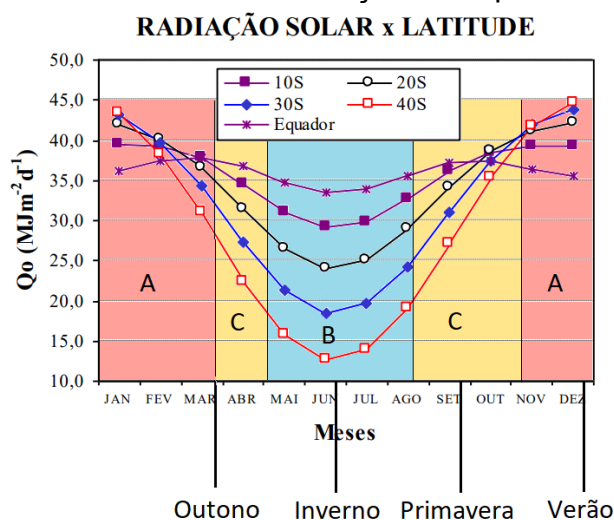
O primeiro passo é analisar as Figuras 14 e 15 para determinar quantas horas seriam necessárias a fim de acionar as luminárias durante o dia. Para isso, são estudadas as indicações de uso no período da manhã, início da tarde e fim da tarde dos fluxogramas.

O segundo passo é examinar a Figura 17, considerando as estações do ano para, assim, estimar quantas horas seria ideal pôr em funcionamento as luminárias. Nesta etapa, o ano pode ser dividido em três seções:

- Seção A: região em rosa que compreende de meados da primavera até o fim do verão com maior incidência de iluminação natural.
- Seção B: região em azul, período que compreende meados do outono até meados do inverno, em que a iluminância natural é menor ao nível do solo.
- Seção C: região em amarelo que abrange do fim do verão até meados de outono e meados do inverno até meados da primavera. Período de incidência mediana da radiação solar.

Por último, o terceiro passo, se baseia na aproximação das horas necessárias para acionar as luminárias em cada seção listada no segundo passo. Assim, se avalia a média entre as horas contabilizadas por seção para propor a estimativa padrão de funcionamento ao ano da iluminação artificial.

Figura 17 – Gráfico da radiação solar pela latitude:



Fonte: Adaptada de Sentelhas, 2009.

Para verificar a energia economizada após a implementação das ações sugeridas pelo FIEEL e observando o comportamento do sistema a partir das simulações realizadas pela ferramenta computacional DIALux, são feitos cálculos do comportamento do sistema elétrico antes e depois das ações de eficiência energética baseados na ANEEL, 2018.

De acordo com tais procedimentos, o estudo de caso apresentado na sequência, demonstra a aplicação dos passos descritos neste processo metodológico. Salienta-se que foi utilizado programa computacional DIALux com o intuito de demonstrar as imperfeições do sistema de iluminação do recinto e potenciais ações para que o sistema seja aperfeiçoado.

4 ESTUDO DE CASO

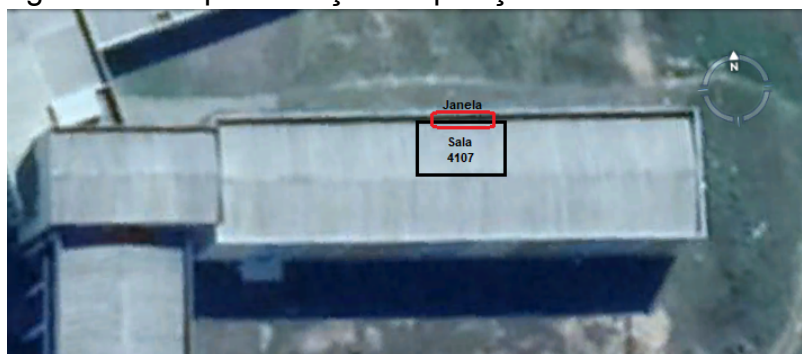
No presente capítulo são detalhados os aspectos que compõem o ambiente de estudo, análise e aplicação do FIEEL além de simulações utilizando o DIALux para estudos luminotécnicos que demonstra que o sistema de iluminação precisa ser adequado a norma sobre iluminação de interiores.

Ao final deste estudo, são apresentados por meio de tabelas, a energia consumida pelo sistema antes e depois da adoção do FIEEL seguida da quantificação de energia economizada pela sua aplicação. Também se verificou a possível redução da demanda fora de ponta do campus baseado nas simulações em que se adotou novas tecnologias com maior eficiência luminosa.

4.1 Medidas da iluminância na sala

A coleta de dados ocorreu em uma sala de aula convencional do quarto bloco do Campus Bagé da UNIPAMPA em um período de quatro semanas com o início no dia 25 de março até 10 de maio do ano de 2019. As medições foram feitas de segunda a sexta-feira durante quatro semanas. O posicionamento da sala em relação ao Norte se dá no sentido perpendicular em relação ao maior comprimento da sala. Com isso, as janelas ficam para o Norte geográfico, o qual pode ser visto na Figura 18. Convém comentar que a sala 4107, situa-se no térreo do quarto bloco que possui três andares e o prédio está geolocalizado no ponto 31°18'24.2"S 54° 03' 51.6"W.

Figura 18 - Representação da posição da sala no edifício.



Fonte: Adaptada de Google Earth, 2020.

A sala possui comprimento de 7,4 m, profundidade de 5,6 m com o pé direito de 3,3 metros de altura. A janela situa-se na lateral da sala em direção ao Norte geográfico e está instalada a 1,14 metros do piso. Suas dimensões são de 1,62 m X 5,4 m. A Figura 19 apresenta a sala.

Figura 19 - Imagem da sala 4107.



Fonte: Autor, 2020.

Para a definição da posição do luxímetro digital, mostrado na figura 20, foi estabelecido uma malha de cálculo com nove pontos de coletas de dados de acordo com o determinado pela ABNT de 2013 sobre iluminância de interiores. O sensor do luxímetro, como recomendado, foi posicionado paralelamente à superfície de trabalho, ou seja, logo acima das classes.

Figura 20 - Luxímetro digital.



Fonte: Autor, 2020.

Referente à estrutura atual de lâmpadas e luminárias, o sistema de iluminação artificial é composto por 6 luminárias de sobrepor (porém, estão suspensas), com refletor de alumínio anodizado de alta eficiência e grade de proteção. As lâmpadas utilizadas são da fabricante G-Light. São lâmpadas tubulares fluorescentes modelo T8 de 32 Watts e estão abrigadas em pares por luminária. Têm temperatura da cor de 4.200 k e fluxo luminoso de 1.916 lumens. As luminárias estão organizadas simetricamente perpendiculares à janela na configuração 2X3. Cada luminária abriga 1 reator de 62 Watts de partida eletrônica instantânea. O sistema de iluminação é controlado por interruptor simples de duas teclas. Uma tecla controla quatro luminárias localizadas próxima à porta de acesso e na faixa central da sala. A segunda tecla controla as demais luminárias localizadas próximo à janela. A Figura 21 exibe as lâmpadas atuais.

Figura 21 - Lâmpadas atuais na sala.



Fonte: Autor, 2020.

Foi definido três períodos do dia para as medições. No início da manhã, ao meio-dia e no fim da tarde. As condições de céu foram observadas e devidamente anotadas conforme a Tabela 2. Para maior abrangência desta pesquisa, observou-se o tipo de iluminação na sala e dessa maneira, coletou-se medidas com três possíveis tipos de cenários de iluminância sendo elas: apenas com luz natural, apenas com iluminação artificial e com luz natural mais a iluminação artificial. Destaca-se que a sala possui persianas verticais para bloqueio parcial da luz natural.

4.1.1 Tabelamento das verificações

Aqui são apresentadas as médias das nove medidas realizadas por cenário e por período do dia durante as quatro semanas. Foram cruzados os dados de medida

da iluminância de acordo com o período do dia pelo tipo de cenário de iluminação para cada semana. Logo após, uma média de todas as semanas é apresentada pela Tabela 11. Em seguida, três tabelas considerando a condição climática podem ser verificadas. As tabelas com a íntegra dos dados das medições feitas podem ser encontradas no apêndice.

A seguir, são apresentadas quatro tabelas, uma para cada semana, com as médias das medidas realizadas. Logo após, segue uma tabela com as médias gerais englobando todas as semanas. Cabe salientar que as cinco primeiras tabelas apresentadas a seguir não levam em consideração as condições do céu, apenas o tipo de iluminação do recinto e o período do dia em que foram coletadas as informações.

Tabela 7 - Médias das medidas para a primeira semana.

Semana 1	Médias		
	Iluminação Artificial	Iluminação Artificial + Luz Natural	Luz Natural
Manhã	487,06	1042,57	751,68
Meio-dia	602,35	1.225,46	956,40
Fim de tarde	406,44	556,24	288,15

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 8 - Médias das medidas para a segunda semana.

Semana 2	Médias		
	Iluminação Artificial	Iluminação Artificial + Luz Natural	Luz Natural
Manhã	474,15	884,77	579,68
Meio-dia	516,00	1.160,46	871,11
Fim de tarde	370,91	610,86	234,04

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 9 - Médias das medidas para a terceira semana.

Semana 3	Médias		
	Iluminação Artificial	Iluminação Artificial + Luz Natural	Luz Natural
De manhã	416,66	584,66	282,22
Meio-dia	428,47	667,61	396,86
Final de tarde	327,50	444,30	130,36

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 10 - Médias das medidas para a quarta semana.

Semana 4	Médias		
	Iluminação Artificial	Iluminação Artificial + Luz Natural	Luz Natural
Manhã	474,93	818,17	554,48
Meio-dia	575,84	1.190,66	877,08
Fim de tarde	323,13	425,31	112,82

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 11 - Médias gerais incluindo todas as semanas.

Todas as semanas	Médias gerais		
	Iluminação Artificial	Iluminação Artificial + Luz Natural	Luz Natural
Manhã	463,20	832,54	542,02
Meio-dia	530,67	1.061,05	775,36
Fim de tarde	357,00	509,18	191,34

Fonte: Autor, 2020.

Para levar em consideração o fator de luz natural e as condições da abóbada celeste, a seguir são apresentadas tabelas com valores médios englobando todas as semanas para cada condição de céu. Nessas tabelas, como nas tabelas acima, cruzam-se os dados de iluminância de acordo com o período do dia pelo tipo de cenário de iluminação, porém, aqui são selecionadas as médias de acordo com a condição do céu no momento da medição.

Tabela 12 - Médias para a condição de céu limpo.

Médias para céu limpo			
Período do dia	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Tipo de luz			
Artificial	539,43	546,22	385,37
Natural	637,14	841,84	234,94
Artificial + Natural	959,08	1.125,14	568,26

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 13 - Médias para a condição de céu parcialmente encoberto.

Médias para céu parcialmente encoberto			
Período do dia	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Tipo de luz			
Artificial	541,89	671,67	365,61
Natural	980,33	1.075,87	315,67
Artificial + Natural	1.185,56	1.393,38	642,67

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 14 - Médias para a condição de céu encoberto.

Médias para céu encoberto			
Período do dia	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Tipo de luz			
Artificial	398,77	429,00	307,02
Natural	413,76	548,32	80,15
Artificial + Natural	698,17	815,79	367,19

Fonte: Autor, 2020.

4.2 Aplicação do método dos lumens

Como esta pesquisa concentra esforços no método analítico de cálculo luminotécnico pelos lumens, neste tópico são apresentados os passos realizados para este cálculo. É de se destacar que baseado na ABNT sobre iluminação de interiores, a iluminância mantida deve ser 500 lx para salas de aula destinadas à educação de adultos. Utilizando a equação (2), segue o procedimento descrito abaixo:

- (E) Iluminância:

Valor definido pela NBR 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior (28. Construções educacionais / Salas de aula, salas de aulas particulares)

$$E = 500\text{lx}$$

- (S) Área do recinto:

Comprimento da sala = 5,6 metros,

Largura da sala = 7,4 metros.

$$S = 7,4 \cdot 5,6$$

$$S = 41,44 \text{ m}^2$$

- (μ) Coeficiente ou fator de utilização:

Como tratado no subtópico 2.5.1 *Método de cálculo pelos lumens* do capítulo anterior, este coeficiente é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pela luminária. Logo, para chegar ao seu valor em concordância com as características da sala e da luminária, são realizados os cálculos abaixo.

Pela equação (8), índice da cavidade local, temos:

$$K = \frac{41,44}{1,96 \cdot (41,44)}$$

$$K = 1,62$$

A partir deste valor, observa-se na Figura 22 disponibilizada pela G-Light (fabricante da luminária) e, cruzando as informações, retira-se a eficiência do recinto que mais se aproxima da sala deste estudo.

Figura 22 - Tabela do índice da cavidade local.

CU AND LUMINAIRE BUDGETARY ESTIMATE DIAGRAM

Test:U:220.11V I:0.1824A P:37.960W PF:0.9454 Freq:59.98Hz Lamp Flux:3004.78x1 lm																
NAME: LUM. ALTO RENDIMENTO T8 LED 2x20W					TYPE:LUM. ALTO RENDIMENTO					WEIGHT:3,85Kg						
SPEC.:6500K AUTOVOLT BRANCA EMBUTIR					DIM.: 1245x297x70mm					SERIAL No.:200.46.0031						
MFR.: G-LIGHT					SUR.:					Shielding Angle:						
ρ_{cc}	80%			70%			50%			30%			10%			0
ρ_w	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0
ρ_{fc}	20%			20%			20%			20%			20%			0
RCR	RCR:Room Cavity Ratio						Coefficients of Utilization(CU)									
0.0	1.19	1.19	1.19	1.16	1.16	1.16	1.11	1.11	1.11	1.06	1.06	1.06	1.02	1.02	1.02	1.00
1.0	1.07	1.04	1.01	1.05	1.02	.99	1.01	.99	.96	.97	.95	.93	.94	.92	.91	.89
2.0	.96	.90	.86	.94	.89	.85	.91	.87	.83	.88	.84	.81	.85	.82	.79	.77
3.0	.86	.79	.74	.85	.78	.73	.82	.76	.72	.79	.74	.71	.77	.73	.69	.67
4.0	.77	.70	.64	.76	.69	.63	.74	.68	.63	.71	.66	.62	.69	.65	.61	.59
5.0	.70	.62	.56	.69	.61	.56	.67	.60	.55	.65	.59	.55	.63	.58	.54	.52
6.0	.63	.55	.50	.63	.55	.49	.61	.54	.49	.59	.53	.49	.58	.52	.48	.46
7.0	.58	.50	.44	.57	.50	.44	.56	.49	.44	.54	.48	.44	.53	.47	.43	.41
8.0	.53	.45	.40	.52	.45	.40	.51	.44	.40	.50	.44	.39	.49	.43	.39	.37
9.0	.49	.41	.36	.48	.41	.36	.47	.41	.36	.46	.40	.36	.45	.40	.36	.34
10.0	.45	.38	.33	.45	.38	.33	.44	.37	.33	.43	.37	.33	.42	.36	.32	.31

Fonte: G-LIGHT, 2020.

$$h_r = 0,96$$

A G-Light também disponibiliza informações específicas sobre a luminária, indicando sua eficiência que é de 73,5%. Utilizando a equação (9), pode-se chegar no coeficiente de utilização:

$$\mu = 0,96 \cdot 0,735$$

$$\mu = 0,70$$

□ (d) Fator de depreciação ou manutenção:

De acordo com a Tabela 5, pode-se retirar o valor aproximado para este fator como segue abaixo:

$$d = 0,80$$

Finalmente, podemos calcular o fluxo luminoso total:

$$\Phi = \frac{500 \cdot 41,44}{0,70 \cdot 0,80}$$

$$\Phi = 37.000 \text{ lumens}$$

Agora, determina-se a quantidade de luminárias que são necessárias na sala com a aplicação da equação (4). Cada luminária tem suporte para 2 lâmpadas e cada lâmpada apresenta um fluxo luminoso de 1.916 lumens. Estas informações foram retiradas de catálogos sobre lâmpadas e luminárias disponibilizadas pelo fabricante.

$$N_{lum} = \frac{37.000}{2 \cdot 1916}$$

$$N_{lum} = 9,65$$

São necessárias aproximadamente 10 luminárias.

Agora, aplica-se a equação (5) para determinar a iluminância média mantida no recinto. Dessa forma, pode-se observar que a iluminação na sala atende ao recomendado pela normativa base. Lembrando que este cálculo não considera a luz natural.

$$E_m = \frac{10 \cdot 2 \cdot 1916 \cdot 0,70 \cdot 0,80}{41,44}$$

$$E_m = 517,83 \text{lx}$$

Por fim, como a sala já apresenta toda a instalação de iluminação pronta composta por 6 luminárias contendo 2 lâmpadas instaladas em cada uma, realiza-se o cálculo para esta condição.

$$E_m = \frac{6 \cdot 2 \cdot 1916 \cdot 0,70 \cdot 0,80}{41,44}$$

$$E_m = 310,70 \text{lx}$$

Como pode ser observado, este nível de iluminância não atende aos 500 lx. De acordo com o método dos lumens, para que sejam atingidos o nível ideal, devem ser instaladas mais 4 luminárias no recinto. As propostas de melhorias para este sistema de iluminação serão abordadas adiante.

4.3 Análise de resultados por comparação

Nesta seção apresentam-se as tabelas comparativas entre as médias aritméticas dos dados coletados e os valores calculados pelo método dos lumens

considerando a situação atual, ou seja, 6 luminárias. Nessas tabelas, os valores para cada condição de céu foram separados e com isso pode-se analisar a influência da luz natural. As três primeiras tabelas mostram a comparação entre as médias e a iluminância calculada para 6 luminárias na sala. Quantidade atual de luminárias.

Tabela 15 - Desvio para a condição de céu limpo, 6.

Desvio para céu limpo			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	228,73	235,52	74,67
Natural	326,44	531,14	-75,76
Artificial + Natural	648,38	814,44	257,56

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 16 - Desvio para a condição de céu parcialmente encoberto, 6.

Desvio para céu parcialmente encoberto			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	231,19	360,97	54,91
Natural	669,63	765,17	4,97
Artificial + Natural	874,86	1.082,68	331,97

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 17 - Desvio para a condição de céu encoberto, 6.

Desvio para céu encoberto			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	88,07	118,30	-3,68
Natural	103,06	237,62	-230,55
Artificial + Natural	387,47	505,09	56,49

Fonte: Autor, 2020.

As Tabelas 18, 19 e 20 apresentam uma comparação entre as médias e a iluminância calculada para 10 luminárias na sala. Quantidade recomendada a partir do método dos lumens.

As tabelas a seguir, representando as diferenças, apresentam valores positivos e negativos de acordo com cada cenário. Os valores positivos revelam que o nível de iluminância medido é maior do que o valor calculado através do método dos lumens. Em contrapartida, valores negativos demonstram que a iluminância

medida está abaixo do calculado. Analisando estes resultados, pode-se estudar e comparar as diferenças com os níveis de iluminância aceitáveis apresentados na Tabela 6. Repara-se que existem turnos do dia onde há grande variação da iluminância em relação a faixa aceitável observada. Estas variações ocorrem em decorrência das condições climáticas e da deficiência do sistema de iluminação atual da sala.

Tabela 18 - Desvio para a condição de céu limpo, 10.

Desvio para céu limpo			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	21,60	28,39	-132,46
Natural	119,31	324,01	-282,89
Artificial + Natural	441,25	607,31	50,43

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 19 - Desvio para a condição de céu parcialmente encoberto, 10.

Desvio para céu parcialmente encoberto			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	24,06	153,84	-152,22
Natural	462,50	558,04	-202,16
Artificial + Natural	667,73	875,55	124,84

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 20 - Desvio para a condição de céu encoberto, 10.

Desvio para céu encoberto			
Período do dia Tipo de luz	Manhã	Meio-dia	Fim de tarde
Artificial	-119,06	-88,83	-210,81
Natural	-104,07	30,49	-437,68
Artificial + Natural	180,34	297,96	-150,64

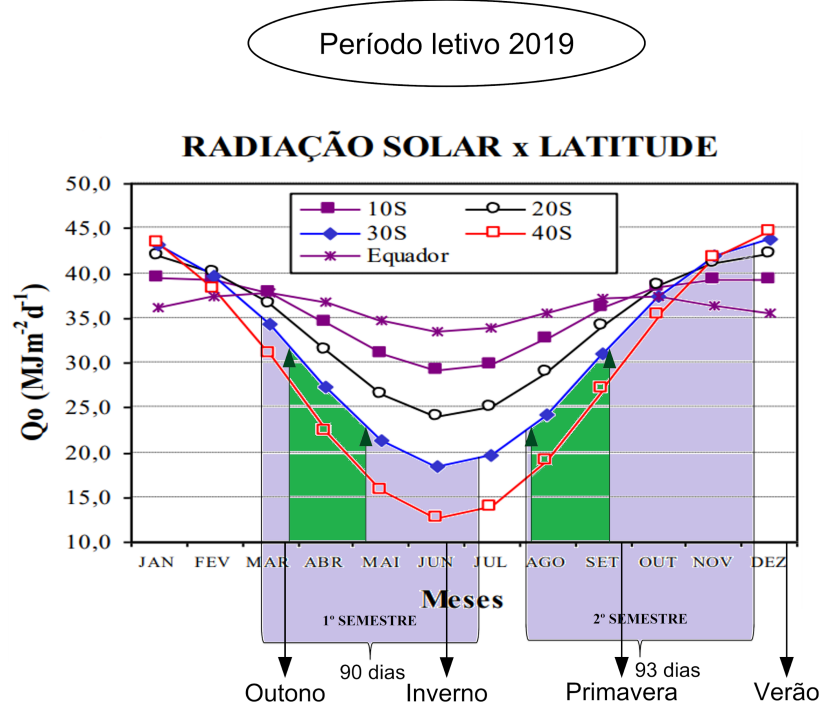
Fonte: Autor, 2020.

A partir desses valores e com a análise dos fluxogramas, examina-se o tempo de utilização da iluminação artificial com a aplicação desta metodologia. A respeito do modo como será implementado o FIEEL neste estudo de caso, fez-se uso do fluxograma dos três passos.

Sendo assim, realizou-se a composição da Figura 17 padronizando-a de acordo com o período letivo de 2019 no qual concebe-se a Figura 23. Destaca-se que a área em lilás se refere aos dias equivalentes ao primeiro e segundo semestre

do ano letivo de 2019. Já a área em verde inserida no primeiro semestre se refere ao período no qual ocorreram as medições. Já no segundo semestre, a área verde é um espelhamento da área em verde situada no primeiro semestre com base na radiação solar e latitude. Sobre a latitude, considerou-se 30° referente a Porto Alegre, que é a cidade com incidência solar mais próxima da incidência em Bagé que se encontra na latitude 31°.

Figura 23 - Composição do gráfico da radiação solar pela latitude.



Fonte: Adaptada de Sentelhas, 2009.

Neste sentido, com a aplicação do fluxograma dos três passos e a análise da Figura 23 pode-se estimar um período ideal de 3 horas diárias de uso da iluminação artificial suficiente para manter o nível adequado de iluminação no recinto quando esta é utilizada de maneira a completar a luz natural. Com isso, é possível que se realize uma análise financeira da redução dos custos com energia elétrica e do possível ganho em eficiência que o sistema obteria caso estas medidas fossem adotadas.

O tópico seguinte complementa o estudo demonstrando por meio de programa computacional, que o sistema de iluminação necessita de adequação atendendo a normativa vigente e a eficiência energética.

4.4 Verificação luminotécnica através de software

Neste t3pico, procura-se selecionar alguns eventos referente as aferi33es *in loco* para compara333o com os resultados obtidos em ambiente simulado pelo *software* DIALux Evo®. Os crit33rios da sele333o destes eventos se deram baseados nas propostas de melhorias do sistema de ilumina333o da sala onde o estudo ocorreu.

A metodologia num33rica 33 mais eficaz pelo fato de considerar uma malha em que o programa calcula a vari33vel desejada para cada 33rea desta malha al33m de incluir diversas outras vari33veis que tornaria o c33lculo manual de grande esfor33o. Os m33todos anal33ticos de c33lculo luminot33cnico s33o em grande parte simples e generalistas. Consideram apenas algumas vari33veis e s33o aplicados a situa333es espec33ficas.

A ferramenta computacional DIALux Evo® abrange uma gama de vari33veis nos c33lculos luminot33cnicos. Segundo Modesto (2014), esse programa computacional foi desenvolvido para simular tr33s situa333es de ambientes: ambientes internos, ambientes externos ou ruas. Este *software* calcula a influ33ncia da luz emitida entre as lumin33rias e a luz refletida pelas superf33cies. Utilizando o procedimento denominado *Radiosity Method*, o DIALux®, baseado na conserva333o de energia, considera que a luz projetada em uma superf33cie tem uma parcela absorvida e outra refletida. Modesto (2014) ainda completa descrevendo:

Neste m33todo, uma equa333o 33 modelada para cada superf33cie. Ela define que a luz emitida por uma superf33cie 33 resultante da luz absorvida de outras superf33cies e da emiss33o da sua pr33pria lumin33ncia, caso ocorra. Assim, obt33m-se uma gama de equa333es que definem o brilho proveniente de cada superf33cie (MODESTO, 2014, p. 44).

O programa realiza a reparti333o de toda a superf33cie do ambiente, depois de modelado em pequenos fragmentos onde cada um 33 submetido aos devidos c33lculos e, assim, pode-se ter uma estimativa mais pr33xima ao real da ilumin33ncia do ambiente (MODESTO, 2014). A modelagem do local e cen33rios de ilumin33ncia ocorreram com fidelidade 33 situa333o real da sala. Considerou-se aspectos de formas, dimens33es, cores, texturas, objetos presentes na sala, quantidade de l33mpadas e lumin33rias, al33m de considerar aspectos relacionados 33 influ33ncia da luz natural determinando a hora do dia e condi333o do c33u. Destaca-se que nem todos os aspectos supracitados s33o representados com exatid33o pelo *software*, gerando

algumas disparidades entre os resultados das simulações e o valor medido na sala. A Figura 24 apresenta o recinto modelado que se revela equivalente a Figura 20.

Figura 24 - Representação da sala 4107.



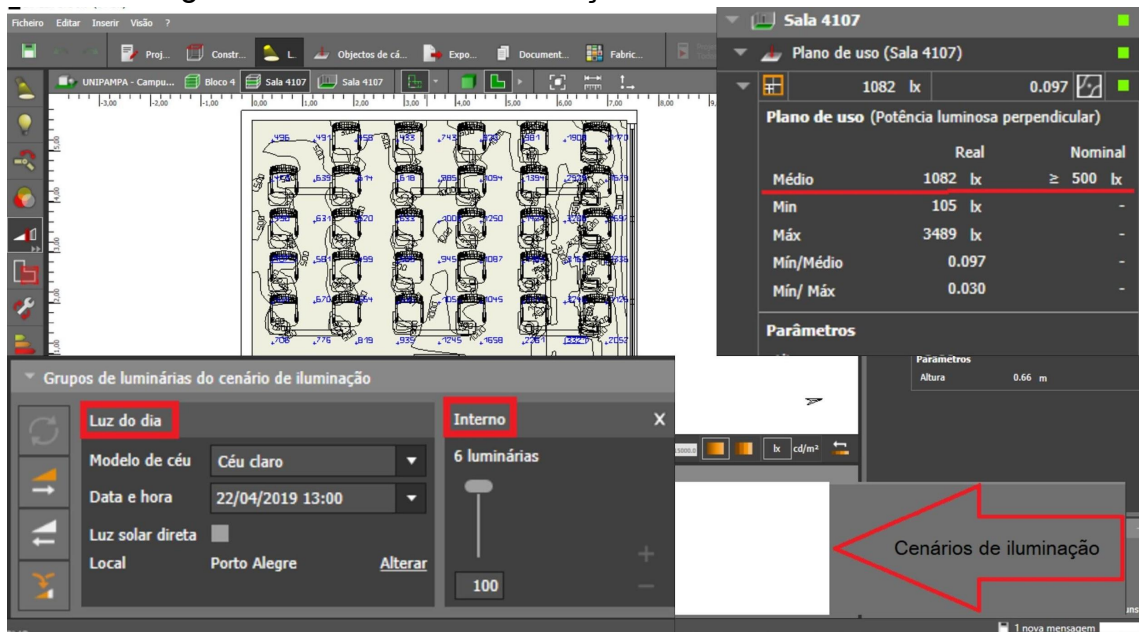
Fonte: Autor (2020).

Na Figura 24 observa-se a sala 4107 modelada no *software* e a seguir os resultados com de alguns cenários possíveis. As duas primeiras imagens a seguir, mostram simulações computacionais realizadas. Estas simulações foram baseadas no cenário de medições *in loco* que ocorreu no dia 22 de abril de 2019 às 13:00 horas, onde foram coletados os dados de iluminância da sala considerando três cenários de iluminação. Tais simulações têm a intenção de retratar a possível economia de energia gerada pela utilização da luz natural em substituição a iluminação artificial. Já nas três últimas imagens, apresentam simulações do evento ocorrido no dia 10 de maio de 2019 às 17:00 horas onde foram coletados os dados de iluminância no cenário de luz natural mais a iluminação artificial. As tabelas com todas as medidas podem ser visualizadas no apêndice. Estas simulações salientam a deficiência do sistema de iluminação perante alguns cenários e assim, se propõem ações para reverter este quadro.

A primeira simulação considera o cenário de iluminação artificial mais a luz natural e como é a influência deste tipo de iluminância na sala. Desse modo, algumas observações devem ser feitas a partir das imagens a seguir. Destaca-se que o quadro em zoom na direita, apresenta o resultado da iluminância média na sala onde o “Real” é o resultado do cálculo do programa e o “Nominal” é a base referida na norma e ser alcançada. À esquerda, no destaque em zoom do retângulo,

é mostrado o cenário de luz natural (luz do dia) seguida da iluminação artificial (interno).

Figura 25 - Cenário de iluminação artificial mais luz natural.

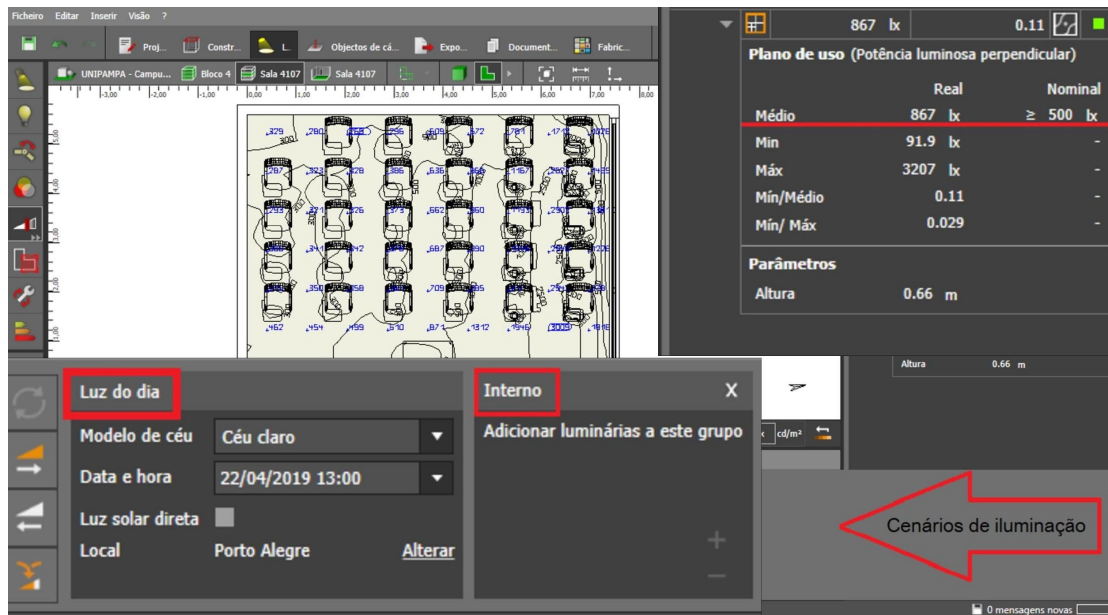


Fonte: Autor (2020).

O resultado destacado pela linha vermelha mostra que a iluminância média simulada foi de 1.082 lx. Pelas médias das verificações *in loco* para o mesmo cenário foi verificado uma iluminância de 1.045 lx. Destaca-se que a condição climática foi de céu limpo ao meio-dia, considerado na simulação. Estes dados conferem a similaridade da situação real com o ambiente modelado.

A seguir na Figura 26, é apresentada a simulação de outro cenário considerando apenas a luz natural no recinto que demonstra ser suficiente para atender a iluminância adequada no local conforme normativa.

Figura 26 - Cenário de luz natural.

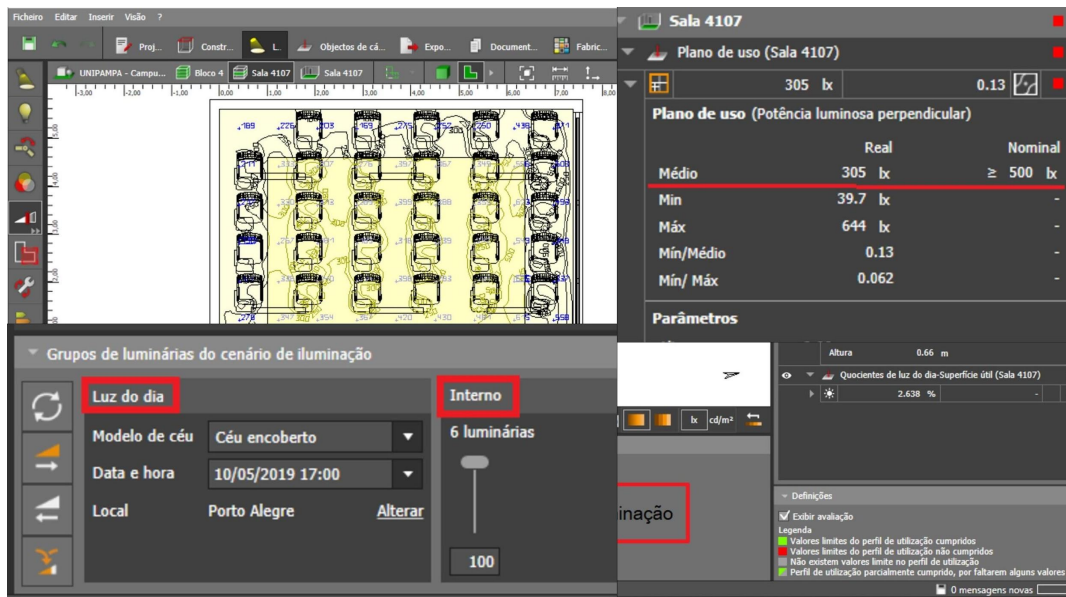


Fonte: Autor (2020).

Observa-se que a iluminância média foi de 867 lx mostrando estar de acordo com o recomendado pela literatura. A média obtida com as medidas no recinto foi de aproximadamente 751 lx para o dia 10 de maio, como pode ser observado nas tabelas presentes no Apêndice A.

As próximas simulações, têm o objetivo de destacar que o sistema atual de iluminação artificial não atende aos quesitos mínimos de iluminância para determinados cenários. Nesta simulação foi considerada a condição de céu encoberto e cenário de iluminação artificial em conjunto com a luz natural ao final da tarde.

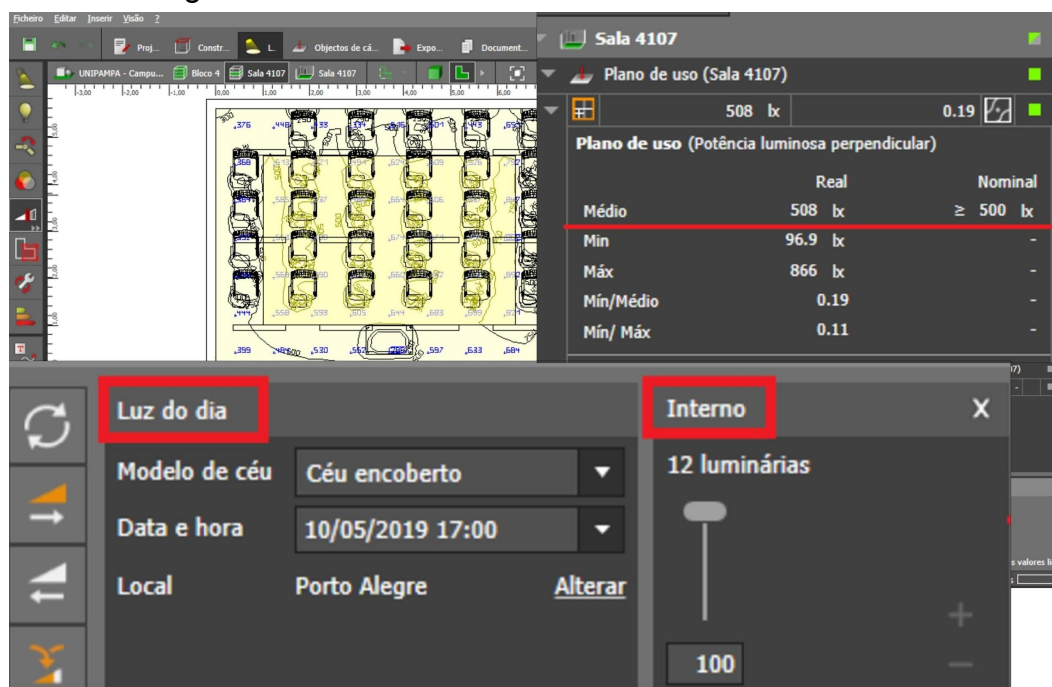
Figura 27 - Cenário com 6 luminárias fluorescentes.



Fonte: Autor (2020).

O resultado da simulação foi de 305 lx e a média obtida com as medidas na sala foi de 316 lx. Pode-se analisar que tanto para o que ocorreu nas medições quanto o resultado da simulação, os valores estão abaixo do recomendado pela normativa sobre iluminação de interiores. Para que o nível ideal de iluminância fosse atendido, foram realizadas correções na simulação, instalando mais 6 luminárias no recinto o que totalizou 12 luminárias como exposto na Figura 26.

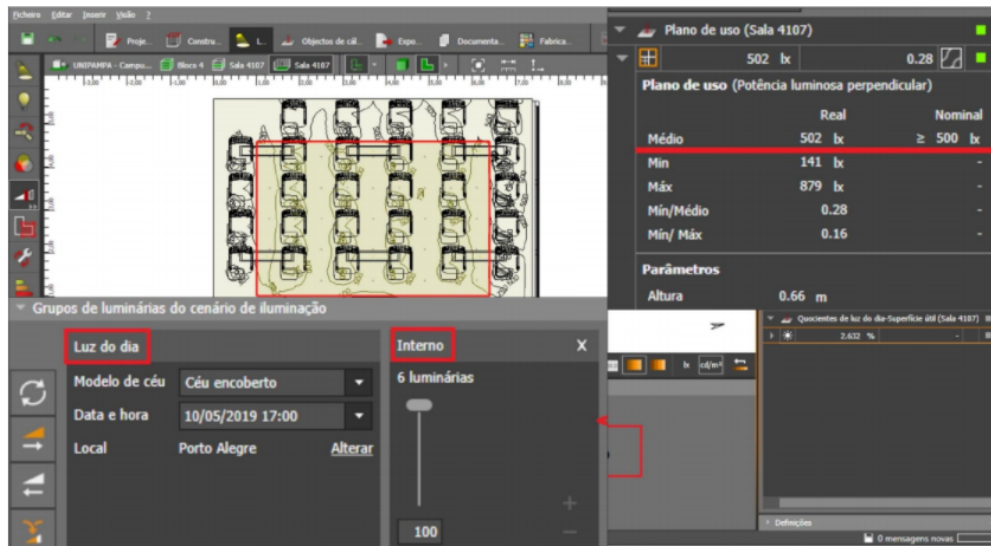
Figura 28 - Cenário com 12 luminárias fluorescentes.



Fonte: Autor, 2020.

Após esta alteração foi realizado um novo cálculo o que resultou em uma iluminância de 508 lx que supre o nível padrão. Como uma alternativa mais adequada, foi realizada outra simulação utilizando lâmpadas tubulares de LED. Neste cenário, foram instaladas luminárias com duas lâmpadas LED de potência 24 Watts para cada lâmpada.

Figura 29 - Cenário com 6 luminárias de LED.



Fonte: Autor, 2020.

Neste último cenário, se chegou a uma iluminância de 502 lx. Este resultado aponta que a substituição das lâmpadas fluorescentes por LED além de atingir a iluminância padrão, demonstra que há uma oportunidade de redução do consumo energético pela utilização de fontes de iluminação mais eficientes.

Comparando os resultados das simulações mostradas nas Figuras 25 e 26 com os valores medidos na sala, nota-se que a luz natural é um fator que deve ser considerado em recintos onde haja a necessidade de iluminação e tenha aberturas pelas quais a luz do céu possa entrar no ambiente.

Tabela 21: Comparação entre resultados para o primeiro cenário.

	Simulação	Medição <i>in loco</i>
Art + Nat.	1.082 lx	1.045 lx
Nat	867 lx	751 lx

Fonte: Autor, 2021.

A luz natural é um importante aliado na diminuição do valor da fatura de energia elétrica, uma vez que pode substituir a iluminação artificial em alguns horários e para certas condições do céu. Para os casos em que a claridade da luz

natural não seja suficiente para cumprir o nível mínimo estabelecido na literatura, é recomendado a utilização destes dois tipos de iluminação no recinto.

As simulações apresentadas nas Figuras 27, 28 e 29 mostram que a situação atual não supre a necessidade de iluminância. Esta necessidade só é atingida quando se dobra a quantidade de lâmpadas fluorescentes, ou quando se substitui por LED. Nesta segunda opção, utilizando 6 luminárias com 2 lâmpadas de LED cada de 24 Watts se mostra mais adequado do ponto de vista da eficiência energética além de atingir o nível ideal de iluminância.

A seguir, o próximo tópico encaminha os resultados obtidos com as ações adotadas a partir do FIEEL e análise das simulações computacionais.

4.5 Resultados com aplicação do FIEEL

A seguir, são apresentados os tabelamentos dos resultados de cálculos referentes a potência instalada, horas de funcionamento no ano, energia consumida, valor monetário da energia consumida e demanda média fora de ponta considerando o cenário atual e após aplicação do fator.

A potência instalada foi baseada no conjunto da luminária que compreende duas lâmpadas fluorescentes de 32 Watts e um reator eletrônico de partida instantânea com fator de potência de 0,97 o que garante a alta eficiência do sistema. Neste contexto e baseado nos catálogos do fabricante, retira-se a potência de 64 Watts deste grupo. Substituindo a fluorescente por LED, a potência da luminária totaliza 48 Watts uma vez que cada lâmpada LED apresenta 24 Watts de potência e não há a necessidade de utilização do reator.

Para o funcionamento, considerou-se que a sala recebe aulas diariamente, de segunda-feira à sexta-feira com início às 08 horas e 25 minutos até às 17 horas e 30 minutos com intervalo para almoço das 12 horas e 25 minutos às 13 horas e 30 minutos perfazendo um total de 8 horas de atividades e utilização integral da iluminação artificial. Aponta-se que o Conselho Universitário a partir da Resolução Nº 253, de 12 de dezembro de 2019, infere na Seção III, Art. 16 inciso 4, que o curso integral é aquele ofertado inteira ou parcialmente em mais de um turno exigindo a disponibilidade do estudante por 06 horas diárias ou mais, durante a maior parte da semana. Nesse sentido, foi observado o período letivo de 2019, ou seja,

considerando 8 horas de utilização das luminárias durante 20 dias em cada um dos 9 meses referentes ao ano letivo.

Sobre a energia consumida, considerou-se o valor base da fatura de eletricidade referente ao mês de dezembro, em que o preço do consumo fora de ponta é R\$0,48 reais levando em conta impostos. A fatura pode ser vista no anexo.

O cálculo para a demanda média fora de ponta foi realizado a partir das faturas da energia elétrica de 2019 do campus, realizando a média de das demandas fora de ponta de cada mês do ano. Nesse sentido, para presumir qual seria a demanda se o sistema atual tivesse sido substituído por LED, considerou-se a potência instalada total nas 12 salas com esta nova tecnologia. Observando a fatura do mês de dezembro, disponível no anexo A, retira-se o valor da demanda por KW que é de R\$28,21 reais.

Foi considerado duas situações para este cenário. A primeira reflete o que ocorre na sala 4107 onde foram realizadas as medições. A segunda situação considerou-se um total de doze salas com as mesmas configurações de ambiente, dimensionamento construtivo e posicionamento no prédio.

A Tabela 22, exibe o consumo do sistema atual de lâmpadas para dois contextos. O primeiro utilizando lâmpadas do tipo fluorescente e o segundo caso fossem substituídas por lâmpadas do tipo LED.

Tabela 22 - Cálculo da energia consumida pelo sistema atual.

SISTEMA ATUAL					
Fluorescente				LED	
		Sala 4107	Total(12 salas)	Sala 4107	Total(12 salas)
Potência (luminária)	W	64	768	48	576
Quantidade		6	72	6	72
Potência instalada	kW	0,384	4,608	0,288	3,456
Funcionamento	h/ano	1440			
Energia consumida	KWh/ano	552,96	6.635,52	414,73	4.976,64
Valor unitário	R\$/KWh	0,48			
Valor total	R\$	R\$ 265,42	R\$ 3.185,05	R\$ 199,07	R\$ 2.388,79
Demanda média fora de ponta	kW	147,43		146,278	
Valor unitário	R\$/KW	28,21			
Valor total	R\$	R\$ 4.159,00		R\$ 4.126,50	

Fonte: Autor, 2021.

Com base na tabela acima, verifica-se que ao utilizar lâmpadas LED há uma redução no consumo de energia além de diminuir a carga instalada.

Salienta-se que o fator de coincidência da redução do consumo pela curva de carga não pode ser averiguado pois não se teve acesso a memória de massa da medição de energia do campus. Como esta análise ocorre fora do horário de ponta, se torna difícil averiguar em que período ocorre o pico da demanda.

A respeito do sistema proposto, levou-se em consideração a aplicação do FIEEL conforme a análise da Figura 21, o que reduz em 37,5% o tempo de utilização da iluminação artificial, totalizando 3 horas de uso diário. Há também, uma redução de aproximadamente 67% da quantidade de luminárias utilizadas após a aplicação do fator, que passa a empregar 4 das 6 luminárias instaladas atualmente considerando os cenários de iluminação. A Tabela 23 mostra o consumo de energia e a demanda para este cenário.

Tabela 23 - Cálculo da energia consumida pelo sistema proposto.

SISTEMA PROPOSTO					
Fluorescente			LED		
		Sala 4107	Total(12 salas)	Sala 4107	Total(12 salas)
Potência (luminária)	W	64	768	48	576
Quantidade		4	48	4	48
Potência instalada	kW	0,256	3,072	0,192	2,304
Funcionamento	h/ano	540			
Energia consumida	KWh/ano	138,24	1.658,88	103,68	1.244,16
Valor unitário	R\$/KWh	0,48			
Valor total	R\$	R\$ 66,36	R\$ 796,26	R\$ 49,77	R\$ 597,20
Demanda média fora de ponta	kW	144,358		143,974	
Valor unitário	R\$/KW	28,21			
Valor total	R\$	R\$ 4.072,34		R\$ 4.061,50	

Fonte: Autor, 2021.

A partir das Tabelas 22 e 23, realiza-se os cálculos para contabilizar a redução da demanda fora de ponta, a energia economizada e a redução de custos financeiros no período de um ano. Os resultados esperados de economia podem ser visualizados pela tabela a seguir.

Tabela 24 - Cálculo da economia gerada.

RESULTADOS ESPERADOS					
Fluorescente			LED		
		Sala 4107	Total(12 salas)	Sala 4107	Total(12 salas)
Redução de demanda fora de ponta	kW	3,072		3,456	

Continuação da Tabela 24.

Valor economizado	R\$	R\$ 86,66		R\$ 97,49	
Energia economizada	KWh/ano	414,72	4.976,64	449,28	5.391,36
Valor economizado	R\$	R\$ 199,07	R\$ 2.388,79	R\$ 215,65	R\$ 2.587,85

Fonte: Autor, 2021.

Nota-se que a lâmpada de LED apresenta maior potencial para redução da demanda. Este fato ocorre, pois, a carga instalada na edificação é menor com o uso do LED em comparação com a lâmpada fluorescente.

Em relação a energia economizada e conseqüentemente redução no valor faturável, o LED se mostra mais uma vez favorável sobre a lâmpada fluorescente. Visto que, esta nova tecnologia é uma fonte luminosa mais eficiente e conseqüentemente, necessita de menos potência para iluminar a mesma área além de apresentar uma vida útil mais duradoura como apontado nos conceitos fundamentais sobre lâmpadas no Apêndice B.

Os resultados destacados acima demonstram que o FIEEL pode ser praticado no ambiente estudado e em outros locais similares, culminando em economias. Assim, a metodologia empregada no desenvolvimento desse fator apresenta-se eficaz quanto ao seu intuito de integrar a iluminação artificial à luz natural.

A partir da análise desses resultados, baseado na metodologia e no estudo de caso, compara-se a situação real onde há seis luminárias com lâmpadas fluorescentes que não atende ao pretendido, com a simulação computacional que apresenta seis luminárias com lâmpadas LED atendendo a iluminância desejada. Nos resultados, verifica-se que em momentos distintos de uso da sala, supõe-se a utilização parcial das luminárias. Sendo assim, o circuito atual que controla o sistema de luminárias conta com a divisão em dois interruptores que controlam grupos desses equipamentos, o que está de acordo com o estudado.

A seguir, no capítulo final, serão feitas considerações a respeito da aplicação do FIEEL seguida de uma análise ampla dos resultados e como correspondem aos objetivos desta pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo metodológico desta pesquisa está baseado na experimentação em campo, averiguação e estudo de métodos consolidados na literatura, utilização de ferramentas computacionais e verificação da aplicação do fator proposto. Neste sentido, foi verificado os níveis de iluminância no recinto de acordo com o indicado pela norma. O estudo por meio de cálculos luminotécnicos foi realizado a partir da literatura base e pautado na ABNT 8995-1. As simulações computacionais foram feitas com a utilização de *software* padrão e consolidado por projetistas em iluminação, modelando cenários próximos ao da sala de estudo. Com base nestas etapas, foi desenvolvido o fluxograma de indicação que representa o FIEEL. Em complemento, foi estudado maneiras de aplicação do FIEEL com o intuito de reduzir os gastos energéticos e financeiros.

A partir destas ações, elaborou-se o fluxograma com propósito de indicar como a iluminação artificial e a natural pode ser utilizada de forma complementar, prevendo reduzir o consumo de energia e a carga instalada da universidade. É importante notar que o processo metodológico do desenvolvimento do fator apresenta algumas variáveis de difícil controle como por exemplo, o clima e a respeito da sua aplicação, a variável complexa é a disciplina dos usuários perante as instruções do fluxograma de indicação. Nesta perspectiva, é notável que a proposta traz à luz a questão sobre o modo como administra-se a iluminação artificial uma vez que pode ser tratada indiscriminadamente por pessoas não instruídas.

A observação das medições realizadas na sala e dos resultados das simulações, mostram que o sistema de iluminação da sala 4107 precisaria ser adequado a fim de atender o nível de iluminância da norma referente a iluminação de interiores, estabelecido para a atividade ali realizada além de satisfazer ao quesito de eficiência energética. A melhoria da qualidade de iluminação pode ser atingida pela maior admissão da luz natural no interior e atualização do sistema de iluminação por outra de maior rendimento luminoso. Estas propostas estariam alinhadas à eficiência energética do sistema, uma vez que se tem um ganho de potência luminosa à medida que ocorre a redução no consumo de energia.

Nesse sentido, nota-se que o FIEEL tem grande potencial a ser explorado presumindo sua adequada aplicação nas referidas salas. Em compensação, a aplicação em ambientes diferentes do estudado por esta pesquisa, prevê algumas

alterações no processo metodológico como nova coleta de dados no local pretendido para verificar a influência da luz natural, além de novo estudo através do método dos lumens para a área em questão.

Assim sendo, verifica-se que o emprego do FIEEL presume utilizar menos lâmpadas para iluminar o ambiente no período diurno o que implica na redução do consumo energético e conseqüentemente uma diminuição no custo da fatura de energia elétrica. É importante salientar que os usuários da sala tenham bom senso em decidir qual grupo de lâmpadas serão acesas ou desligadas para que seja mantida a uniformidade da iluminância no local de trabalho. Cabe ressaltar que a divisão do circuito do sistema de iluminação em mais de um interruptor prevendo o maior controle sobre as luminárias é indicado para o uso em períodos distintos do ambiente.

Os resultados observados após os cálculos de economia de energia e redução da demanda média fora de ponta, mostram o potencial que a aplicação do FIEEL proporciona ao sistema elétrico reduzindo a carga e a energia elétrica da instituição. Neste âmbito, ao se considerar lâmpadas do tipo LED, este potencial é destacado pelo aumento da economia de energia e conseqüentemente da redução com a fatura de energia elétrica.

Diante dessas observações e no contexto deste estudo, se identifica o potencial de aplicar o FIEEL para outros segmentos semelhantes. Uma questão fundamental a ser destacada, são que as ações baseadas na aplicabilidade do FIEEL convergem para os princípios de eficiência energética, de tal modo, amplia as oportunidades de se aprimorar a cultura da sustentabilidade no cotidiano das pessoas.

TRABALHOS FUTUROS

Aqui são destacadas as principais sugestões de trabalhos.

- Realizar a substituição das lâmpadas por outras com maior rendimento luminoso;
- Automatização do sistema de Iluminação Artificial a fim de atuar junto com a Luz Natural;
- Programa de capacitação para a comunidade acadêmica.

PUBLICAÇÕES

- TERRA, Wander de Souza; GUTIERRES, Luiz F.F. **Proposição de uma Metodologia para considerar a Iluminação Natural em Cálculos de Luminotécnica.** 2ª Mostra Científica de Tecnologias em Energia e Carboquímica. Candiota, RS. 2019.
- TERRA, Wander de Souza; GUTIERRES, Luiz F.F. **ESTUDO DE UM FATOR E CORREÇÃO PARA CONSIDERAR A ILUMINAÇÃO NATURAL EM CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS.** 28º Congresso de Iniciação Científica, da 5ª Semana Integrada de Inovação, Ensino, Pesquisa e Extensão, UFPel. Pelotas, RS. 2019.
- TERRA, Wander de Souza; GARCIA, Enoque Dutra. **PROPOSTA DE USO EFICIENTE DA ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA.** 12º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão - SIEPE. Modalidade virtual. 2020.
- TERRA, Wander de Souza; GARCIA, Enoque Dutra. **Fator indicativo de eficiência energética baseado no Método dos Lumens e na Iluminação Natural.** Aranda, editora técnica e cultural, artigos acadêmicos. Revista eletricidade Moderna. 2021. Disponível em: https://www.arandanet.com.br/revista/em/artigos_academicos/21-Fator-indicativo-de-eficiencia-energetica-baseado-no-Metodo-dos-Lumens-e-na-Iluminacao-Natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **PROPEE - Procedimento do Programa de Eficiência Energética**. Brasília, DF: ANEEL; Brasília, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambiente de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60598-1**: Luminárias. Parte 1: Requisitos Gerais e Ensaios. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-2**: Luz Natural. Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

AECWEB. **Como projetar a iluminação de salas de aula?**. [s./]. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-projetar-a-iluminacao-de-salas-de-aula/15468>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

BOCCHESI, Mariano Fernandes. **Projeto luminotécnico em escola no município de Feliz: Otimização do aproveitamento da Luz Natural**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2019**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Energia – PNE 2050**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2020.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA - CEEE. Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.ceee.com.br/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16 ed. (atualização e revisão de L. S. Costa). Rio de Janeiro: LTC, 2016.

Commission Internationale de L'Eclairage. **Guide on the Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems**. CIE 97, 2005.

CONFEA, Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. **Resolução N° 1.076**, 2016.

DIALUX EVO. Versão 5.9.0.49107. [S.I]: DIAL, 2020.

DME, Department of Minerals and Energy. **Energy Auditing Course Trainer's Guidebook**. South África, 2004.

DOULOS, L. T. Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. **Elsevier**, [s. /], v. 194, p. 201-217, jul. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819305687?via%3Dihub>. Acesso em: 14 fev. 2021.

Energilux. **Led Cob e Smd: Você Sabe a Diferença Entre Eles?** Disponível em: <https://blog.energilux.com.br/led-cob/>. Acesso em: 13 de mai. de 2020.

FADIGAS, L. B. de Melo. **O Design Emocional na Concepção de Projetos Luminotécnicos**. 2016. Tese (Mestrado em Artes Visuais) - Universidade Federal da Bahia. Programa de pós-graduação em Artes Visuais. Salvador, 2016.

FIORINI, Thiago M. S. **Projeto de Iluminação de Ambientes Internos Especiais**. 2006. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.

FRANCIS, Leonardo Tomasi. **Análise e Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração Eficiente da Iluminação Natural e Artificial**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia da Computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

GOOGLE EARTH. Versão 7.3.3.7786. [S.I]: Google, 2021.

GUTIERRES, Luiz F.F. **Conservação e eficiência Energética. Práticas de eficiência energética: iluminação.** Notas de aula. Curso de Engenharia de Energia. Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: Óptica e Física Moderna.** Vol. 4. 10 ed. (tradução R. S. de Biasi). Rio de Janeiro: LTC, 2016.

International Energy Agency – IEA. **World Energy Outlook 2018.** Tradução para o português do Brasil. França, 2018.

Illuminating Engineering Society – IES. **The Lighting Handbook. 10th. Reference and application.** New York, 2011.

INNES, Malcolm. **Lighting for interior Design.** 1 ed. London: Gustavi Gili, 2012.

LEROYMERLIN. **Conheça os tipos de plafons.** 2015. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/dicas/conheca-os-tipos-de-plafons>. Acesso em: 19 mai. 2020.

LIMA, Renata Camelo. **Interferência do Entorno Construído na Disponibilidade de Luz Natural no Interior do Ambiente no Litoral Norte de Maceió - AL.** 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2015.

LUCENA, Mariana C. Melo. **Avaliação do Conforto Luminoso nas Salas de Aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.** 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

MARTINS, Jefferson da Silva. **Fabricação e Caracterização de OLEDs Utilizando Novos Transportadores de Buracos e Novos Emissores de Luz Para Aplicações em Eletrônica Orgânica.** 2017. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Programa de Pós-Graduação em física, Juiz de Fora, 2017.

MODESTO, André L. N. **Avaliação do Consumo Energético de Sistemas de Iluminação Utilizando Lâmpadas Fluorescentes e Led**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina. 2014.

MORAES, Letícia Niero. **Estudo Comparativo de Sistemas de Iluminação Artificial com Diferentes Luminárias Considerando a Disponibilidade de Luz Natural**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação, Florianópolis, 2012.

MOURA, Mariangela. **Iluminação: Análise de Cenários Utilizando a Tecnologia LED**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação, Niterói, 2015.

NASCIMENTO, Fernanda de Vargas. **Gestão da Eficiência da Iluminação Artificial Integrada à Iluminação Natural em Ambientes Internos: Estudo do Retrofit Luminotécnico**. 2019. Monografia (Especialista em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

O SETOR ELÉTRICO. Sistemas de Iluminação. **Curvas Fotométricas**. São Paulo. Fevereiro, 2012. Ed. 73. Cap. 2. fev. 2012.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos**. 2009. Disponível em: http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Catalogo_Geral_2009-2010. Acesso em: 25 abr. 2020.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. São Paulo, 2000.

Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia - Bacharelado. Universidade Federal do Pampa. Bagé, RS. 2018.

SANTOS, Iara Gonçalves dos; AUER, Tomas; SOUZA, Roberta V. G. Iluminação natural interna otimizada em ambientes urbanos tropicais adensados. **SciELO**. Porto Alegre, n. 3, set 2017. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000300087&lng=en&tlng=en. Acesso em: 10 fev. 2021.

SENTELHAS, Paulo Cesar; ANGELOCCI, Luiz Roberto. **Radiação Solar Balanço de Energia**. LCE- 306 – Meteorologia Agrícola. Aula 5. ESALQ/USP. 209

SIGNIFY, **The science of lighting**. A guide about the nature and behavior of light. High Tech Campus. The Netherlands, 2019.

SILVA, Nuno G. M. M. **Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes**. Orientador: António Manuel Mendes Raimundo. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. **Integração de Luz Natural e Artificial: Métodos e Guia Prático Para Projeto Luminotécnico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2008.

VIVA DECORA. **Entenda o conceito da distribuição de luz e aprenda a ler uma curva fotométrica – com exemplos!**. 2018. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/iluminacao/curva-fotometrica/>. Acesso em: 22 de mai. de 2020.

APÊNDICE A

Tabelamento das medidas realizadas *in loco*

Figura 30: Médias 1ª semana.

			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	Média		
3/25/2019	9:00h	Luz artificial	380	428	402	461	480	396	430	530	580	454,11	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	920	1550	1390	706	990	997	650	670	640	945,89		
		Luz natural	337	310	313	471	506	498	604	853	810	522,44		
	12:37h	Luz artificial	434	460	410	460	513	496	550	599	607	503,22	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	670	745	690	790	800	922	1271	1828	1875	1065,67		
		Luz natural	383	417	370	621	630	653	1083	1430	1409	777,33		
	17:30h	Luz artificial	356	324	341	354	401	367	297	256	287	331,44	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	546	478	498	476	456	398	345	279	347	424,78		
		Luz natural	289	278	249	341	321	287	365	268	258	295,11		
3/26/2019	10:27h	Luz artificial	377	438	449	465	595	560	531	981	684	564,44	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	940	1432	1177	835	922	690	511	550	712	863,22		
		Luz natural	245	266	310	370	530	645	1220	1170	790	616,22		
	12:45h	Luz artificial	449	504	523	510	682	606	911	760	571	612,89	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	1503	1847	2229	1486	1353	1302	908	671	610	1323,22		
		Luz natural	448	449	529	859	782	913	1902	1802	1787	1052,33		
	17:24h	Luz artificial	335	363	315	308	361	401	318	362	376	348,78	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	565	478	484	406	470	531	406	426	408	463,78		
		Luz natural	114	92	89	166	179	244	358	436	277	217,22		
3/27/2019	10:28h	Luz artificial	371	406	395	491	431	415	483	500	540	448,00	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	1301	1398	1264	934	1045	783	673	672	652	969,11		
		Luz natural	335	342	358	455	450	642	1071	1029	771	605,89		
	12:15h	Luz artificial	425	460	406	492	501	419	533	568	495	477,67	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	1280	1246	1063	977	1100	851	687	624	665	943,67		
		Luz natural	434	458	426	912	934	604	1249	1073	834	769,33		
	17:30h	Luz artificial	685	760	587	587	624	648	556	429	543	602,11	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	908	949	876	834	825	706	599	543	430	741,11		
		Luz natural	498	487	557	598	501	467	365	389	405	474,11		
3/28/2019	10:23h	Luz artificial	413	455	425	539	546	463	540	584	476	493,44	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	1358	1846	1830	1043	1058	837	701	664	722	1117,67		
		Luz natural	469	433	409	796	689	634	1688	1788	1503	934,33		
	12:35h	Luz artificial	619	660	562	511	570	467	4112	459	424	931,56	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	718	736	710	1219	1079	983	2450	2780	1830	1389,44		
		Luz natural	401	346	460	828	833	547	1897	2200	1375	987,44		
	16:52h	Luz artificial	370	383	348	405	451	374	436	464	404	403,89	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	860	978	826	680	718	635	508	560	511	697,33		
		Luz natural	159	200	202	320	413	304	530	595	488	356,78		
3/29/2019	10:22h	Luz artificial	381	420	370	454	504	441	631	545	532	475,33	céu encoberto	
		Luz artificial + natural	2200	2340	1660	1145	1338	972	712	820	666	1317,00		
		Luz natural	365	427	349	1062	1009	734	2170	2180	1420	1079,56		
	12:36h	Luz artificial	418	456	410	483	437	456	567	622	529	486,44	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	2090	2610	2020	1165	1307	1096	760	829	771	1405,33		
		Luz natural	520	615	469	1024	1093	920	1819	2200	2100	1195,56		
	18:06h	Luz artificial	317	351	310	371	400	327	347	370	321	346,00	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	482	530	485	482	479	411	415	435	369	454,22		
		Luz natural	48	63	52	76	88	93	158	186	114	97,56		

Fonte: Autor, 2019.

Figura 31: Médias 2ª semana.

			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	Média		
4/8/2019	8:35h	Luz artificial	438	450	406	474	358	368	467	596	589		460,67	Céu limpo
		Luz artificial + natural	630	638	619	543	752	757	1120	1000	795		761,56	
		Luz natural	254	271	253	372	401	500	1059	1060	592		529,11	
	12:37h	Luz artificial	420	484	452	476	576	444	571	639	604		518,44	
		Luz artificial + natural	1353	1457	1692	869	956	1058	722	780	750		1070,78	
		Luz natural	1300	1052	1079	586	700	640	386	473	457		741,44	
	17:00h	Luz artificial	342	380	356	382	327	371	383	496	383		380,00	
		Luz artificial + natural	756	940	675	600	570	564	498	569	508		631,11	
		Luz natural	197	190	170	171	285	282	462	614	399		307,78	
4/9/2019	10:30h	Luz artificial	434	439	464	485	508	543	520	634	634		517,89	Céu limpo
		Luz artificial + natural	613	680	670	811	990	980	1050	1383	1341		946,44	
		Luz natural	416	368	371	660	600	610	800	1160	1066		672,33	
	13:01h	Luz artificial	551	585	562	438	470	423	364	374	361		458,67	
		Luz artificial + natural	1455	1414	1401	875	944	795	671	752	661		996,44	
		Luz natural	376	364	370	566	585	625	1161	1119	1022		687,56	
	17:30h	Luz artificial	371	317	305	327	334	399	386	347	367		350,33	
		Luz artificial + natural	320	397	370	410	454	389	478	431	490		415,44	
		Luz natural	73	63	75	128	154	110	228	224	244		144,33	
4/10/2019	8:35h	Luz artificial	405	436	362	477	499	429	528	506	485		458,56	Céu limpo
		Luz artificial + natural	993	1023	880	701	861	778	657	670	571		792,67	
		Luz natural	305	302	288	546	414	415	698	742	628		482,00	
	12:36h	Luz artificial	435	476	407	520	542	468	561	606	578		510,33	
		Luz artificial + natural	753	745	649	1072	977	919	1336	1494	1381		1036,22	
		Luz natural	483	437	372	770	654	669	988	1210	1125		745,33	
	17:30h	Luz artificial	325	289	270	399	336	470	607	478	405		397,67	
		Luz artificial + natural	789	808	789	899	948	982	990	1008	809		891,33	
		Luz natural	80	76	62	110	198	278	309	329	350		199,11	
4/11/2019	10:20h	Luz artificial	390	448	396	381	441	489	482	536	451		446,00	Céu parcialmente encoberto
		Luz artificial + natural	1494	1384	1145	734	1075	852	686	786	637		977,00	
		Luz natural	374	459	374	357	478	463	1042	1088	909		616,00	
	13:25h	Luz artificial	498	432	418	545	512	473	615	625	573		521,22	Céu limpo
		Luz artificial + natural	830	1006	734	1002	1240	1110	1728	1866	1556		1230,22	
		Luz natural	572	710	472	750	990	778	1577	1430	1672		994,56	
	17:00h	Luz artificial	346	407	348	389	435	347	396	377	431		386,22	
		Luz artificial + natural	703	838	760	642	631	497	504	570	459		622,67	
		Luz natural	198	216	153	318	254	168	404	503	470		298,22	
4/12/2019	10:27h	Luz artificial	556	570	507	452	484	537	406	400	477		487,67	céu encoberto
		Luz artificial + natural	1421	1402	1159	726	986	932	520	628	742		946,22	
		Luz natural	282	352	225	558	410	399	1154	1120	891		599,00	
	13:35h	Luz artificial	456	470	455	566	522	560	690	730	693		571,33	Céu parcialmente encoberto
		Luz artificial + natural	1925	2400	2030	1352	1268	1347	918	1136	842		1468,67	
		Luz natural	636	840	559	1055	990	1025	1775	2140	1660		1186,67	
	17:18h	Luz artificial	350	354	327	356	366	353	321	323	313		340,33	Céu parcialmente encoberto
		Luz artificial + natural	374	422	355	488	466	478	630	648	583		493,78	
		Luz natural	116	154	105	195	162	183	374	388	310		220,78	

Fonte: Autor, 2019.

Figura 32: Médias 3ª semana.

			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	Média		
22/04/2019	8:35h	Luz artificial	678	820	584	610	678	636	767	728	685		687,33	Céu limpo
		Luz artificial + natural	1384	1158	1249	776	820	870	608	703	702		918,89	
		Luz natural	397	348	336	481	493	571	1126	897	786		603,89	
	12:58h	Luz artificial	470	473	466	565	620	510	685	730	690		578,78	Céu limpo
		Luz artificial + natural	700	785	745	918	1036	960	1305	1528	1428		1045,00	
		Luz natural	450	424	393	649	660	663	1095	1289	1140		751,44	
	16:43h	Luz artificial	346	365	375	395	460	411	386	361	426		391,67	Céu limpo
		Luz artificial + natural	657	944	845	600	680	647	498	546	480		655,22	
		Luz natural	180	158	149	265	272	258	543	500	644		329,89	
4/23/2019	10:00h	Luz artificial	256	343	267	298	380	319	273	290	327		305,89	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	280	290	350	429	468	400	610	578	649		450,44	
		Luz natural	45	79	109	139	130	145	233	335	289		167,11	
	12:27h	Luz artificial	387	409	356	358	421	369	336	386	344		374,00	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	336	370	371	446	496	420	620	612	731		489,11	
		Luz natural	90	95	130	161	167	175	411	515	332		230,67	
	17:25h	Luz artificial	245	305	346	300	412	321	299	279	310		313,00	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	325	300	269	293	410	329	540	480	579		391,67	
		Luz natural	59	62	79	128	111	142	269	209	236		143,89	
4/24/2019	08:25h	Luz artificial	256	343	267	298	380	319	273	290	327		305,89	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	280	290	350	429	468	400	610	578	649		450,44	
		Luz natural	45	79	109	139	130	145	233	335	289		167,11	
	12:00h	Luz artificial	387	409	356	358	421	369	336	386	344		374,00	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	336	370	371	446	496	420	620	612	731		489,11	
		Luz natural	90	95	130	161	167	175	411	515	332		230,67	
	17:30h	Luz artificial	245	305	346	300	412	321	299	279	310		313,00	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	325	300	269	293	410	329	540	480	579		391,67	
		Luz natural	59	62	79	128	111	142	269	209	236		143,89	
4/25/2019	10:00h	Luz artificial	341	362	319	321	345	407	132	372	336		326,11	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	509	697	588	437	488	608	404	401	355		498,56	
		Luz natural	95	116	65	166	183	275	267	258	377		200,22	
	12:50h	Luz artificial	366	421	366	367	406	484	437	415	570		425,78	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	491	593	439	540	670	898	901	1033	756		702,33	
		Luz natural	172	161	144	276	356	482	592	783	480		382,89	
	17:25h	Luz artificial	311	362	335	328	360	288	285	295	280		316,00	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	308	310	269	314	337	401	318	371	322		327,78	
		Luz natural	10	16	13	17	26	18	35	50	35		24,44	
4/26/2019	10:20h	Luz artificial	293	376	339	326	345	409	344	357	337		347,33	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	495	588	546	420	550	447	387	434	370		470,78	
		Luz natural	67	69	60	122	170	125	272	304	230		157,67	
	12:57h	Luz artificial	339	380	356	320	350	325	300	350	298		335,33	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	380	397	322	353	403	477	500	597	477		434,00	
		Luz natural	111	129	87	150	170	220	370	430	335		222,44	
	16:45h	Luz artificial	278	305	321	290	317	286	259	302	246		289,33	Céu encoberto
		Luz artificial + natural	358	370	320	319	378	420	460	568	430		402,56	
		Luz natural	12	21	17	18	22	18	26	43	32		23,22	

Fonte: Autor, 2019.

Figura 33: Médias 4ª semana.

			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	Média		
5/6/2019	8:57h	Luz artificial	272	321	293	267	368	299	262	313	293	298,67	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	339	376	336	316	422	350	339	362	334	352,67		
		Luz natural	15	18	13	26	29	28	74	69	44	35,11		
	11:15h	Luz artificial	323	370	339	315	349	413	326	364	322	346,78	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	471	621	628	393	413	485	357	421	371	462,22		
		Luz natural	82	78	89	155	154	164	273	425	418	204,22		
	16:10h	Luz artificial	350	383	358	366	376	447	446	428	364	390,89	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	755	1336	1590	610	678	630	484	540	501	791,56		
		Luz natural	160	167	150	284	322	252	947	943	470	410,56		
5/7/2019	10:33h	Luz artificial	939	1073	856	646	746	773	525	593	594	749,44	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	1945	2180	1383	1083	1592	1322	820	1120	966	1379,00		
		Luz natural	763	599	522	723	1105	993	1640	1898	1156	1044,33		
	12:28h	Luz artificial	576	591	580	690	733	641	945	1000	840	732,89	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	896	879	920	1180	1445	1360	1825	2380	2000	1431,67		
		Luz natural	647	641	680	959	1113	1148	1786	2160	1623	1195,22		
	17:35	Luz artificial	343	376	310	351	396	328	302	312	325	338,11	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	362	394	330	395	443	367	340	411	359	377,89		
		Luz natural	22	23	27	30	52	30	77	66	42	41,00		
5/8/2019	10:43h	Luz artificial	838	889	937	235	575	772	453	527	514	637,78	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	1469	2270	2140	927	1316	1596	872	1048	909	1394,11		
		Luz natural	800	461	406	782	1337	1606	1320	2850	2540	1344,67		
	13:19h	Luz artificial	549	585	600	668	1011	868	1043	710	850	764,89	Céu parcialmente encoberto	
		Luz artificial + natural	1955	3050	3660	1408	2100	1404	960	1040	1000	1841,89		
		Luz natural	633	678	677	840	1430	1100	2560	2870	1664	1383,56		
	17:20h	Luz artificial	303	323	339	309	348	310	278	295	300	311,67	Céu limpo	
		Luz artificial + natural	330	345	378	367	351	320	298	327	342	339,78		
		Luz natural	26	22	25	31	57	45	68	51	39	40,44		
5/9/2019	10:45h	Luz artificial	315	371	307	336	405	360	347	380	327	349,78	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	550	666	582	446	507	468	372	352	427	485,56		
		Luz natural	70	76	68	145	133	136	282	350	303	173,67		
	13:32h	Luz artificial	827	1023	962	546	625	660	447	484	409	664,78	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	715	880	726	1630	1450	1187	3000	3050	1860	1610,89		
		Luz natural	435	459	430	919	1035	1022	2530	2740	1560	1236,67		
	17:30h	Luz artificial	295	300	326	271	345	291	230	255	249	284,67	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	335	319	362	290	320	293	234	289	270	301,33		
		Luz natural	14	14	15	21	25	23	55	69	78	34,89		
5/10/2019	9:20h	Luz artificial	278	375	338	344	399	277	338	374	328	339,00	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	550	537	633	479	514	418	342	443	400	479,56		
		Luz natural	73	85	81	138	150	149	256	334	306	174,67		
	13:40h	Luz artificial	382	439	377	373	425	314	295	389	335	369,89	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	343	437	378	474	622	638	784	808	976	606,67		
		Luz natural	128	160	150	298	352	348	605	564	687	365,78		
	16:52h	Luz artificial	260	320	295	240	256	299	280	340	323	290,33	Céu encoberto	
		Luz artificial + natural	270	340	310	270	359	340	315	360	280	316,00		
		Luz natural	13	16	15	26	29	29	77	78	52	37,22		

Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE B

Conceitos fundamentais sobre lâmpadas e luminárias

Lâmpadas

Fonte de iluminação artificial criada pelo homem, as lâmpadas são necessárias para iluminação de áreas sombreadas ou quando há ausência de luz natural. Abaixo são classificadas as lâmpadas segundo o processo de emissão de luz.

Lâmpada de incandescência

Lâmpadas de incandescência produzem a luz pela passagem da corrente elétrica por um filamento que pode ser confeccionado de Tungstênio, possuindo alta resistência elétrica o que provoca aquecimento por efeito Joule. Uma parcela desta energia elétrica é convertida em luz, mas a grande parte é convertida em calor tornando-as menos eficientes do ponto de vista luminotécnico (SILVA, 2011).

No conjunto de lâmpadas de incandescência, existe um modelo que é mais comum e utilizado nas residências. Para este tipo de lâmpada, durante seu funcionamento, ao passar corrente elétrica no filamento de Tungstênio, os átomos do filamento evaporam e condensam-se na superfície interna do bulbo. Por este fato, a ampola de vidro é relativamente grande para diminuir o rápido escurecimento que diminui progressivamente o fluxo luminoso. Outra função da ampola é produzir um ambiente de vácuo ou preenchido com um gás inerte que isole termicamente o filamento (SILVA, 2011).

Já as lâmpadas incandescentes halógenas, são confeccionadas com a adição de halógenos ao gás inerte que faz com que a fuligem do desgaste do filamento volte para ele e não se acumule no bulbo. Esta condição cíclica acontece frente ao fator de aquecimento interno do bulbo, que não deve ser inferior a 250°C. Para isto, a confecção dessa ampola é de tamanho inferior a lâmpada incandescente convencional, para que a temperatura no seu interior aumente, assim, como a pressão do gás, reduzindo a taxa de evaporação do Tungstênio (SILVA, 2011). A figura 28 apresenta alguns modelos de lâmpadas halógenas respectivamente dos tipos cápsula, dicróica, linear e refletora.

Figura 34 - Modelos de lâmpadas halógenas.



Fonte: Silva (2011).

Lâmpada de descarga

Próximo ao princípio do fenômeno de descargas elétricas naturais, esta classe de lâmpada possui a característica de fazer com que haja um fluxo controlado de corrente elétrica em contato com uma mistura de gás inerte e vapores metálicos, fazendo com que ocorra interação destes elementos para, desta maneira, produzir luz. lâmpadas de descarga funcionam em conjunto com um elemento essencial, o reator. Este elemento, entre outras funções, auxilia no controle da corrente elétrica, na correção do fator de potência, na vida útil da lâmpada e no controle da potência. Também há neste tipo de lâmpada o ignitor ou *starter* com a função de causar um pulso de tensão para iniciar sua ignição (SILVA, 2011; SIGNIFY, 2019).

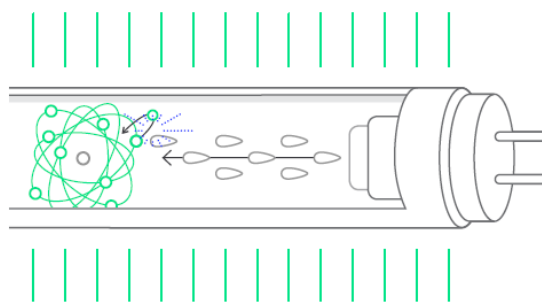
Lâmpadas de descarga, podem ser subdivididas em dois grupos importantes: lâmpadas a baixa pressão e as lâmpadas a alta pressão. As de baixa pressão, possuem brilho menos intenso pois são menores as interações dos gases e vapores metálicos com os elétrons. Já as de alta pressão, possuem brilho mais intenso pelo aumento da interação destes elementos sendo que estas, são mais indicadas para uso em locais abertos como por exemplo, estádios e grandes estacionamentos (SILVA, 2011).

A Figura 31 apresenta os princípios de funcionamento e principais características destes dois grupos: lâmpada de descarga a baixa pressão e lâmpada de descarga a alta pressão respectivamente.

Lâmpada de descarga a baixa pressão trabalha a pressão inferior a 1 Bar e operam nas temperaturas entre 30 a 40°C (SIGNIFY, 2019). As lâmpadas fluorescentes estão inseridas nesta subclassificação e são as mais comuns utilizadas nas residências, instituições de ensino, escritórios dentre outros empreendimentos. A respeito do seu funcionamento, esta classe de lâmpada trabalha com vapor de Mercúrio misturado a um gás inerte, geralmente o Argônio, onde ocorre um fluxo de corrente elétrica constante entre dois eletrodos em cada

extremidade da lâmpada, produzindo radiação ultravioleta. A luz visível é produto da interação da radiação ultravioleta com o material fluorescente, que são cristais de fósforo fixados na parede interna do tubo de vidro (SILVA, 2011).

Figura 35 - Princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente.



Fonte: Signify (2019).

Sobre a eficiência deste tipo de lâmpada, Moura (2015) destaca que:

As fluorescentes têm maior rendimento quanto menor o diâmetro do tubo de descarga devido ao aumento do número de reflexões. Possuindo arranque e re-arranque praticamente instantâneos, suas principais características são: rendimento luminoso de 60 a 90 lm/W, temperatura de cor de 3.700 a 7.000 K e tempo de vida útil (período economicamente viável) de 6.000 a 18.000 horas (MOURA, 2015, p. 42).

Além do modelo de lâmpadas fluorescentes tubulares, existem modelos que são de menor comprimento como as lâmpadas fluorescentes compactas. Essas, possuem menor rendimento luminoso variando de 50 a 90 lm/W, apresentam menor temperatura da cor, por volta de 2.700 K a 5.400 K, e duram menos, podendo chegar a 6.000 horas de uso ininterrupto (MOURA, 2015). As lâmpadas fluorescentes compactas, subdividem-se em função do equipamento auxiliar ser incorporado ou não, designando-se por lâmpada fluorescente compacta integrada ou não integrada. Esta última, pode ser dimerizada se possuir uma base de 4 pinos mais o reator (SILVA, 2011).

Figura 36 - Modelos de lâmpadas fluorescentes.



Fonte: Silva (2011).

Na Figura 32 pode ver, respectivamente, lâmpada tubular, compacta não integrada, compacta integrada com tubos de descarga em forma de U e espiral. Sobre as lâmpadas de descarga a baixa pressão, existem as que utilizam vapor de sódio. Estas, são mais difíceis de ascender pois o Sódio, se apresenta no estado sólido, e por este fato, é demandada uma temperatura mais elevada do que em uma fluorescente pois é preciso evaporar o sódio para o processo de emissão de luz. Para isto, este modelo de lâmpada é confeccionado de forma que o tubo de descarga, onde o vapor de Sódio se mistura ao gás inerte, fique inserido em um invólucro de vidro em formato oval. Este tipo de lâmpada emite luz monocromática na tonalidade amarela e é indicada para áreas externas (SILVA, 2011; DME, 2004).

Lâmpadas de descarga a alta pressão costumam operar em pressões superiores a 1 Bar e operam em temperaturas por volta de 5.000°C (SIGNIFY, 2019). Estas lâmpadas são mais compactas do que as de baixa pressão e são divididas em três grupos: As que utilizam vapor de Mercúrio, as que utilizam vapor de sódio e ainda as de iodeto metálico (SILVA, 2011). Sobre eficiência, Signify (2019) diz:

Como já mencionado, as lâmpadas de descarga de gás são muito mais eficientes do que as lâmpadas incandescentes: lâmpadas de alta pressão até 10 vezes mais. Além disso, a vida útil é muito mais longa: as lâmpadas de alta pressão têm uma vida útil de 10.000 a mais de 25.000 horas (SIGNIFY, 2019, p. 25).

As lâmpadas que utilizam vapor de Mercúrio a alta pressão, possuem o tubo de descarga confeccionado em quartzo e um eletrodo a mais para auxiliar na ignição que leva cerca de três minutos para atingir o brilho total. A luz irradiada tem a tonalidade branco azulado e pode chegar a um branco neutro ou branco morno quando o bulbo de vidro é revestido internamente com Fósforo. Outra necessidade

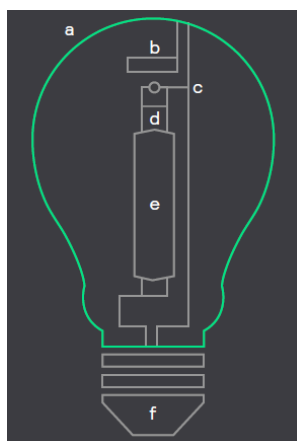
de utilizar um bulbo de vidro é devido a condição de se manter a temperatura constante e proteger os componentes internos de corrosão, uma vez que estas lâmpadas são indicadas para locais abertos como ruas ou estádios (SILVA, 2011; MOURA, 2015).

Agora, as que utilizam vapor de sódio em alta pressão, apresentam vantagem em relação à última citada, pois, podem alcançar maior rendimento luminoso pelo fato de conseguirem maior proporção de radiação visível (SILVA, 2011). Moura (2015), comenta ainda sobre suas especificidades que:

As principais características das lâmpadas de vapor de sódio são: rendimento luminoso de 80 a 150 lm/W, temperatura de cor de 2.000 a 2.500 K e tempo de vida útil de cerca de 8.000 horas, sendo que algumas empresas (como a OSRAM) já produzem lâmpadas de vapor de sódio que duram até 32.000 horas (MOURA, 2015, p. 44).

Por fim, nesta classe de lâmpadas, existem ainda as de iodeto metálico. Estas são confeccionadas com uma mistura de iodetos metálicos para que o IRC e a sua eficiência sejam melhoradas. Da mesma forma que as lâmpadas de vapor de Sódio e as de Mercúrio, as lâmpadas de iodeto metálico levam um certo tempo para atingir o brilho total após serem ligadas e um tempo maior quando são realizadas em um curto espaço de tempo (SILVA, 2011).

Figura 37 - Esquema de lâmpada de descarga a alta pressão.



Fonte: Signify (2019).

Na Figura 33 podemos reparar que a) Bulbo externo de vidro. b) Contato. c) Suporte do tubo de descarga. d) Eletrodo. e) Tubo de descarga. f) Base rosca.

Figura 38 - Modelos de lâmpadas de descarga.



Fonte: Silva (2011).

Assim, os modelos acima respectivamente são, mercúrio a alta pressão, iodeto metálico, sódio a baixa pressão e sódio a alta pressão.

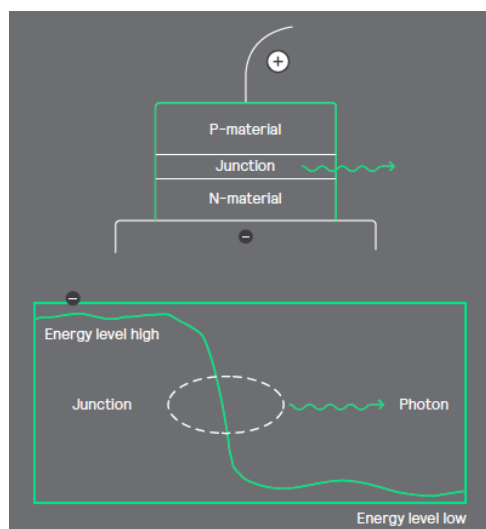
LED

LED ou *Light-Emitting Diode*, é um dispositivo eletrônico capaz de transformar a energia elétrica em luz, emitindo luz visível por efeito quântico. Sua estrutura é baseada em materiais semicondutores que estão em uma classificação entre materiais condutores e materiais não-condutores (MOURA, 2015). Basicamente, o LED possui duas camadas de silício. O primeiro, do tipo P, composto com maior concentração de buracos ou falta de elétrons e o segundo, do tipo N, com excesso de elétrons. O princípio de funcionamento de um LED acontece por um estímulo de uma corrente elétrica nos diodos em sentido unidirecional que, por sua vez, faz com que os elétrons transitem de uma camada mais energética para uma outra menos energética, emitindo luz (SIGNIFY, 2019). Signify (2019), descreve o princípio de funcionamento de um LED:

A aplicação de uma tensão na junção p-n empurra os elétrons em direção à junção dos dois materiais, onde os elétrons do material n caem nos buracos do material p. Ao fazer isso, os elétrons se movem de um nível de energia alto para um mais baixo, e a diferença de energia é emitida como luz (SIGNIFY, 2019, p. 31).

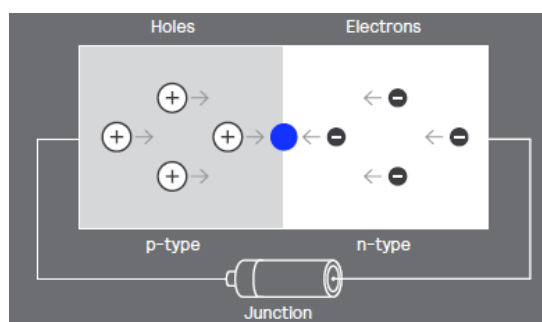
A transformação da energia elétrica em energia luminosa dos LEDs, ocorre na matéria. Por isso, chama-se de iluminação em estado sólido, consequência disso denomina-se *Solid State Lighting* (SSL) (MOURA, 2015).

Figura 39 - Princípio de funcionamento do LED.



Fonte: Signify (2019).

Figura 40 - Processo de emissão de luz.



Fonte: Signify (2019).

No mercado, basicamente existem 4 tipos de LEDs que são: LED SMD, CoB LED, LED de 5mm e OLED (SIGNIFY, 2019). Os LEDs SMD ou *Surface Mounted Devices*, possuem potência superior a 1 W, atuam em altas correntes e podem produzir um rendimento de 115 lm/W. Este modelo gera calor e por isso necessita de um dissipador de calor fixado em sua base. LEDs de potência como os SMDs são utilizados em lâmpadas de iluminação de interiores e podem ser confeccionados com um invólucro no formato de bulbo, tubular (fita de LEDs) ou spot (SILVA, 2011; MOURA, 2015). LEDs *Chip on Board* ou CoB, nada mais são do que um conjunto de até nove LEDs num agrupamento, normalmente de alta potência, proporcionam luz multidirecional e possuem vida útil mais longa. Caracterizam-se pelo centro amarelo feito de fósforo que cobre o agrupamento. É indicado para instalações externas (Energilux, 2020; SIGNIFY, 2019). Já os LEDs de 5mm trabalham em baixas potências e são utilizados para indicar status de operação nos equipamentos

eletrônicos. A Figura 37 apresenta, respectivamente, LED SMD (Surface Mounted Devices). CoB LED (Chip on Board). LEDs de 5 mm (MOURA, 2015).

Figura 41 - Modelos de LEDs.



Fonte: Signify (2019).

Para Martins (2017), OLEDs são dispositivos eletrônicos orgânicos, ou seja, entre as camadas p-n é adicionada uma película orgânica a base de carbono por onde percorre uma corrente elétrica e com isso proporciona luz por eletroluminescência¹. O mecanismo de emissão de luz nos OLEDs se dá por um processo em etapas onde primeiro se injetam cargas na junção depois, ocorre o transporte destas cargas, ocorrendo em seguida, a recombinação de cargas e, por fim, a emissão de luz visível por eletroluminescência¹.

Silva (2011) destaca que a produção de luz branca em alguns LEDs ocorre de duas maneiras, sistema PC (*phosphor conversion*) ou sistema RGB (*red-green-blue*). Silva (2011) ainda descreve a produção de luz branca da seguinte forma:

O sistema PC consiste num LED que emite radiação azul ou próxima dos UV, que ao atravessar uma lente revestida por um material fluorescente, usualmente de cor amarela, emite luz branca, enquanto o sistema RGB consiste na combinação de LEDs com feixes de luz monocromáticos que se misturam ao passar numa lente óptica, produzindo luz branca[...] (SILVA, 2011, P. 68).

Luminárias

Luminária pode ser entendido como o conjunto composto pela fonte de luz, lâmpada, suportes, refletores, circuito elétrico dentre todos os outros componentes que a constitui (INNES, 2012). Para ABNT de 2010 que trata sobre luminárias, luminária é o equipamento que distribui ou reflete a luz produzida por uma ou mais

¹ Eletroluminescência - É um fenômeno óptico e elétrico durante o qual um material emite luz em resposta a uma corrente elétrica que o atravessa.



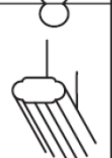


lâmpadas, incluindo a função de dar suporte a lâmpada, conter equipamentos auxiliares, proteger da lâmpada e circuitos elétricos.

Innes (2012), classifica as luminárias segundo a propagação da luz pelo ambiente. Como existem diversos modelos para este equipamento, pode-se distinguir entre dispersiva ou direcional. A primeira, o fluxo luminoso se propaga em todas as direções. Já a segunda, o fluxo luminoso obedece a uma direção angular ditada pelos refletores da luminária (FADIGAS, 2016). A ABNT de 2010, classifica as luminárias segundo a proteção contra choque elétricos, nível de proteção contra a entrada de poeira, objetos sólidos ou líquidos e pelo material de sua superfície de apoio. Porém, a grande variedade de luminárias faz com que haja modelos e características diferentes para atender a particularidade de cada projeto (INNES, 2012). Luminárias, podem ser categorizadas em alguns grupos como: Luminária pendente dispersiva, pendente descendente e pendente ascendente; luminárias de embutir que podem ser plafons ou spots e ainda há alguns outros exemplos de luminárias comuns em decoração de ambientes que são: arandela, abajur e tocheiros (INNES, 2012; FADIGAS, 2016).

Para atender ao critério de iluminação constante no plano de trabalho e assim, manter a iluminância média constante no recinto, Creder (2016) traz informação sobre o espaçamento ideal para luminárias em ambientes internos.

Figura 42 - Espaçamento entre luminárias.

Espaçamento máximo entre as luminárias

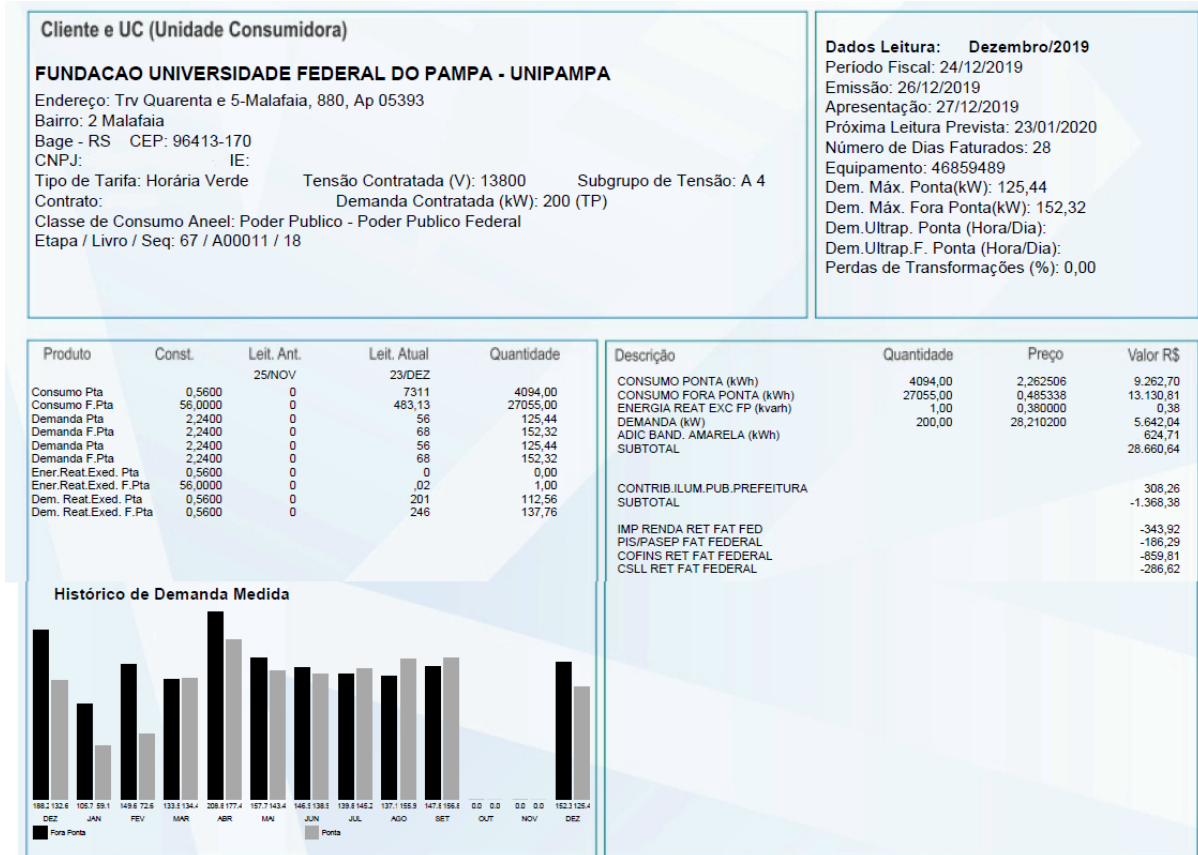
Direta	Semidireta	Geral difusa	Semi-indireta	Indireta
				
Da luminária ao piso			Do teto ao piso	
0,9	0,9	1	1	1
vezes em h_m			vezes em h_m	

Fonte: Creder (2016).

Anexo

Espelho da fatura de energia elétrica referente ao mês de dezembro da Universidade Federal do Pampa, campus Bagé.

Figura 43: Espelho da fatura de energia.



Fonte: Adaptada de CEEE, 2020.