

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GUILHERME VIEIRA IBARGOYEN

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM
INSTALAÇÕES ESCOLARES DE GRANDE PORTE: Estudo de caso Campus
Alegrete - Unipampa**

Alegrete, RS

2017

GUILHERME VIEIRA IBARGOYEN

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM
INSTALAÇÕES ESCOLARES DE GRANDE PORTE: Estudo de caso Campus
Alegrete - Unipampa**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Eficiência Energética, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

Universidade Federal do Pampa – Unipampa
Curso de Engenharia Elétrica

Alegrete, RS
2017

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) .

I12e Ibargoyen, Guilherme Vieira
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM
INSTALAÇÕES ESCOLARES DE GRANDE PORTE: Estudo de caso Campus
Alegrete - Unipampa / Guilherme Vieira Ibargoyen.
117 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2017.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

1. Eficiência Energética. 2. Energias Renováveis. 3. Mini
Geração Distribuída. I. Título.

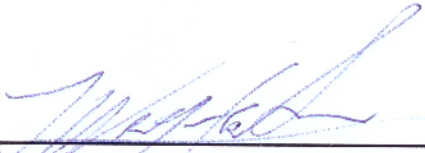
GUILHERME VIEIRA IBARGOYEN

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM
INSTALAÇÕES ESCOLARES DE GRANDE PORTE: Estudo de caso Campus
Alegrete - Unipampa**

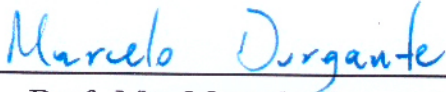
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Eficiência Energética, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Trabalho de Conclusão defendido e aprovado em: Alegrete, RS, 2017:

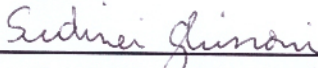
Banca examinadora:



Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Marcelo Durgante
UNIPAMPA



Prof. Dr. Sidinei Ghissoni
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a Deus, pois ele me amparou nos momentos difíceis. À minha família, por acreditar em meu potencial quando eu mesmo não acreditei. A todos os amigos, conhecidos ou parentes que de alguma forma contribuíram para que hoje esta etapa esteja concluída. Porém, dedico este trabalho de uma forma especial, aos entes queridos que sonharam junto comigo viver este momento, mas infelizmente o destino quis que pudessem contemplar esta conquista apenas agora, de outro plano, lá ao lado de Deus, para vocês e por vocês, seguirei sempre na busca do saber e do desenvolvimento pessoal, intelectual e espiritual.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter dado saúde e força a mim e minha família nesse longo caminho. Aos meu pais Adriano e Silvana e meu irmão Lucas por serem os principais responsáveis por eu chegar até aqui. Agradeço a minha namorada Beatriz por me apoiar durante esta jornada, sempre me dando forças e incentivando no caminho desta conquista. Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Eng. José Wagner Maciel Kaehler pela amizade, por todas as orientações durante a graduação até a concepção deste trabalho, por sua paciência ao me ajudar, por corrigir meus erros, aconselhar e literalmente orientar da melhor maneira possível. A todos os mestres que passaram-me o conhecimento adquirido até o momento, desde o início de minha vida escolar, na infância. A todos os meus colegas e amigos por suas contribuições e por dividirem as dificuldades comigo. À Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), pela oportunidade de evolução pessoal e profissional. À todas as pessoas que me ajudaram de forma direta ou indireta a vencer mais esta etapa, o meu muito obrigado.

“Se você pensa que pode, ou se pensa que não pode, de qualquer forma você está certo”.
(Henry Ford)

RESUMO

Praticar uma melhor gestão dos recursos energéticos disponíveis tem sido um dos maiores desafios para o homem na atualidade. Este trabalho tem por finalidade a busca por maior eficiência energética no sistema de iluminação interna de uma instituição de ensino de grande porte, no caso a Unipampa campus Alegrete. Utilizando-se de medições de campo e simulações no *software* luminotécnico DIALux, buscam-se justificativas que viabilizem a implementação de uma tecnologia em constante expansão no mercado mundial, a iluminação por LED (*Light Emitting Diode*). Comprovando a manutenção da qualidade do serviço ofertado ao usuário, aliado a uma redução significativa no consumo de energia, é realizada a projeção para um sistema de mini geração distribuída, com base no recurso solar, capaz de suprir as cargas atuais, depois de readequadas, somadas às cargas previstas para as edificações em processo de construção. O processo de adequação tecnológica alcança uma redução no consumo atual de aproximadamente 55%, compensando em 90% a carga adicional proveniente dos novos prédios e resultando em uma mini geração solar capaz de prover uma estimativa de 600MWh anuais.

Palavras-chave: Eficiência Energética, LED, DIALux, Mini Geração distribuída

RESUMEN

La práctica de una mejor gestión de los recursos energéticos disponibles ha sido uno de los mayores desafíos para el hombre en la actualidad. Este trabajo tiene por finalidad la búsqueda por mayor eficiencia energética en el sistema de iluminación interna de una institución de enseñanza de gran porte, la Unipampa Campus Alegrete. Utilizando mediciones de campo y simulaciones en el *software* luminotécnico DIALux, se buscan justificaciones que viabilicen la implementación de una tecnología en constante expansión en el mercado mundial, la iluminación por LED (*Light Emitting Diode*). Comprobando el mantenimiento de la calidad del servicio ofrecido al usuario, aliado a una reducción importante en el consumo de energía, se realiza la proyección para un sistema de Mini Generación Distribuida, con base en el recurso solar, capaz de suplir las cargas actuales, después de ser adaptadas, sumadas a las cargas previstas para las edificaciones en proceso de construcción. El proceso de adecuación tecnológica alcanza una reducción en el consumo actual de aproximadamente 55%, compensando en 90 % la carga adicional proveniente de los nuevos edificios y resultando en una mini generación solar capaz de proporcionar una estimación de 600MWh anuales.

Palabras Clave: Eficiencia Energética. LED. DIALux. Minigeración distribuida.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição do Sistema de Iluminação no Brasil (uso final).	27
Figura 2 – Classificação da Iluminação Artificial em Áreas Comuns (Níveis de Eficiência)	28
Figura 3 – Representação Ângulo Plano (Rad)	30
Figura 4 – Representação Ângulo Sólido (Sr)	30
Figura 5 – Representação de Iluminância, Fluxo Luminoso e Intensidade Luminosa.[EMPALUX]	32
Figura 6 – Exemplo de um Luxímetro Digital ICEL LD-800 Aferido, com Certificação.	33
Figura 7 – Demonstração da Lei do Inverso do Quadrado	35
Figura 8 – Lei do Inverso do Quadrado [Esfera Projecção 3D]	36
Figura 9 – Projecção através das superfícies, demonstrando redução proporcional ao quadrado da distância	36
Figura 10 – Definição Iluminamento Horizontal	37
Figura 11 – Definição Iluminamento Vertical	38
Figura 12 – Tendência para tecnologias de iluminação até 2020	39
Figura 13 – Exemplos de conformidades de luminárias	40
Figura 14 – Conformação em função do tipo de lâmpada	40
Figura 15 – Orientação para medição de luminária no Goniofotômetro	42
Figura 16 – Curva de Distribuição Luminária de uma lâmpada incandescente	42
Figura 17 – CDL luminária PHILIPS TCS 460- TL5 28W	43
Figura 18 – Zona de Trabalho - Entorno imediato	45
Figura 19 – Processo de Emissão de Luz pelo LED	47
Figura 20 – Curva Fotométrica divulgada pelo fabricante.Philips BPS460 1xLED24 830	47
Figura 21 – Consumo e geração no primeiro trimestre.	50
Figura 22 – Consumo e geração anual.	50
Figura 23 – Consumo em Janeiro e mecanismo de reajuste.	51
Figura 24 – Aplicação do fator de ajuste no mês de Janeiro.	52
Figura 25 – Faturamento após aplicação do Fator de Ajuste.	52
Figura 26 – Dados líquidos em 12 meses de faturamento.	52
Figura 27 – Estações do ano em função do movimento da terra em torno do sol.	53
Figura 28 – Media anual de insolação, em horas diárias, segundo CRESESB 2000.	54
Figura 29 – Definição do Ângulo de Declinação.	55
Figura 30 – Declinação solar.	56
Figura 31 – Carta solar cartesiana para Macapá-AP	57
Figura 32 – Carta solar cartesiana para Alegrete-RS	57
Figura 33 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar as cartas solares.	58

Figura 34 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar a viabilidade econômica do sistema.	58
Figura 35 – Efeito fotovoltaico na camada PN.	59
Figura 36 – Células em série para elevar a tensão mantendo a corrente do sistema.	60
Figura 37 – Célula de Silício mono cristalino.	61
Figura 38 – Célula de Silício poli cristalino.	62
Figura 39 – Célula de Silício Amorfo.	62
Figura 40 – Sistema de Geração Fotovoltaica.	62
Figura 41 – Vista Aérea da Unipampa - Campus Alegrete.	65
Figura 42 – Ultrapassagens no contrato de demanda [kW].	70
Figura 43 – Consumo de Energia Elétrica [kWh].	71
Figura 44 – Iluminação Prédio Acadêmico 1.	72
Figura 45 – Iluminação Prédio Acadêmico 2.	72
Figura 46 – Iluminação Prédio Casa Estudantes.	73
Figura 47 – Iluminação PAMPATEC.	73
Figura 48 – Iluminação do Prédio Administrativo.	74
Figura 49 – Iluminação Prédio Reitoria e Assessoria de Obras.	74
Figura 50 – Iluminação Prédio Cantina.	75
Figura 51 – Iluminação Pavilhão Máquinas Agrícolas.	75
Figura 52 – Iluminação Laboratórios Engenharia Mecânica	75
Figura 53 – Iluminação no NTIC.	76
Figura 54 – Iluminação Laboratórios Engenharia Elétrica.	76
Figura 55 – Iluminação Laboratórios Engenharia Civil.	77
Figura 56 – Alicata Wattímetro Digital MINIPA, Modelo:ET4091.	78
Figura 57 – Vista do ambiente Software DIALux.	80
Figura 58 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 1 - 204.	82
Figura 59 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 1.	82
Figura 60 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 1 - 204 (Sistema Atual).	83
Figura 61 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 1 (Sistema Atual).	83
Figura 62 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 2 - 101.	84
Figura 63 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 2.	85
Figura 64 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 2 - 101 (Sistema Atual).	85
Figura 65 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 2 (Sistema Atual).	86
Figura 66 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 3 - Lab Info 1.	87
Figura 67 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 3.	87
Figura 68 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 4 - 205B.	88
Figura 69 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 4.	89

Figura 70 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 5 - 203	90
Figura 71 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 5.	90
Figura 72 – Quadro comparativo da carga para iluminação do Prédio Acadêmico 1.	92
Figura 73 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio da Reitoria e Assessoria de Obras.	92
Figura 74 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Acadêmico 2	93
Figura 75 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio da Cantina	93
Figura 76 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Administrativo (Parte 1)	94
Figura 77 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Administrativo (Parte 2)	94
Figura 78 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação da Casa de Estudantes.	95
Figura 79 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Pavilhão de Máquinas Agrícolas.	95
Figura 80 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Mecânica.	96
Figura 81 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Pampatec.	96
Figura 82 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio do NTIC.	97
Figura 83 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Elétrica.	97
Figura 84 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Civil.	98
Figura 85 – Quantitativo para os equipamentos de iluminação necessários.	99
Figura 86 – Resumo da redução total obtida pela substituição dos aparelhos de ar condicionado.	100
Figura 87 – Demanda Energética Total Final Anualizada considerando todos os prédios da Unipampa Alegrete.	101
Figura 88 – Dados Climatológicos de Alegrete, segundo o INMET.	102
Figura 89 – Irradiação Solar média em Alegrete, segundo os anais do INMET.	102
Figura 90 – Gráfico da irradiação solar média, ao longo do ano [kWh/dia/m ²].	103
Figura 91 – Número de horas de irradiação solar média, durante um ano.	103
Figura 92 – Carta Solar para Unipampa Alegrete.	104
Figura 93 – Dados oficiais INMET considerados para determinar o Potencial Elétrico Solar em Alegrete.	104

Figura 94 – Especificações Planilhadas para Instalação Fotovoltaica de 195kW. . .	105
Figura 95 – Resumo da redução total obtida comparando os sistemas atual e proposto.	107
Figura 96 – Resumo da redução total obtida comparando estudo anterior com o sistema atual.	108
Figura 97 – Resumo da redução total obtida comparando estudo anterior com o sistema proposto.	108
Figura 98 – Custo de equipamentos e implantação para as modificações propostas em iluminação.	109
Figura 99 – Premissas adotadas e resultados obtidos para Viabilidade Econômica na iluminação.	109
Figura 100 – Viabilidade Econômica para o sistema de Climatização (Enfoque Concessionária).	110
Figura 101 – Viabilidade Econômica para todas as adequações energéticas no Campus - Alegrete (Enfoque Concessionária).	111
Figura 102 – Viabilidade Econômica para Instalação Fotovoltaica de 195kW (Enfoque Cliente).	111
Figura 103 – Viabilidade Econômica para Instalação Fotovoltaica 2x195kW (Enfoque Concessionária).	112
Figura 104 – Viabilidade Econômica Global para Eficiência Energética no Campus - Alegrete (Enfoque Concessionária).	112
Figura 105 – Viabilidade Econômica Global para Eficiência Energética na Unipampa - Alegrete (Enfoque Cliente).	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lâmpadas utilizadas anualmente nas residências.	27
Tabela 2 – Determinação do nível mínimo de Iluminância exigido por norma . . .	44
Tabela 3 – Eficiência por tipo de Célula Fotovoltaica.	60
Tabela 4 – Faturas Físicas de Energia Campus Alegrete	67
Tabela 5 – Faturas de Energia Campus Alegrete (Monetária) - Parte 1	68
Tabela 6 – Faturas de Energia Campus Alegrete (Monetária) - Parte 2	69
Tabela 7 – Grandezas elétricas aferidas para a iluminação da Sala Tipo 1.	79
Tabela 8 – Grandezas elétricas aferidas para a iluminação da Sala Tipo 2.	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Distribuição do Trabalho	24
2	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Eficiência Energética	25
2.2	Iluminação	26
2.2.1	Iluminação no Brasil	26
2.2.2	Iluminação Natural e Artificial	28
2.2.3	Conceitos Básicos	29
2.2.3.1	Ângulo Plano	29
2.2.3.2	Ângulo Sólido	30
2.2.3.3	Fluxo Luminoso	31
2.2.3.4	Iluminância	32
2.2.3.5	Medição de Iluminância	33
2.2.3.6	Intensidade Luminosa	34
2.2.3.7	Lei do Inverso do Quadrado	35
2.2.3.8	Iluminamento Horizontal	37
2.2.3.9	Iluminamento Vertical	38
2.2.3.10	Eficiência Luminosa	39
2.2.3.11	Fotometria	41
2.2.4	Luminárias	43
2.2.5	Iluminação e a nova norma regulamentadora	44
2.3	Novas Tecnologias versus Tecnologias Conhecidas	45
2.4	Minigeração Solar	48
2.4.1	Resoluções Normativas	48
2.4.2	Energia Fotovoltaica	53
2.4.3	Rastreamento e captação da Energia	53
2.4.4	Células Fotovoltaicas	59
2.4.4.1	Material de Constituição das Células	61
2.4.5	Sistema Fotovoltaico	62
3	DESENVOLVIMENTO	65
3.1	Identificação e Dados Gerais	65
3.1.1	Dados instalações atuais	66
3.2	Carga Instalada e(ou) prevista (Iluminação)	71
3.2.1	Medição de campo, iluminação em Salas Tipo	77
3.2.1.1	Sala Tipo 1	78
3.2.1.2	Sala Tipo 2	79

3.3	Software Luminotécnico DIALux	80
3.3.1	Simulações DIALux	80
3.3.1.1	Sala Tipo 1	81
3.3.1.2	Sala Tipo 2	84
3.3.1.3	Sala Tipo 3	86
3.3.1.4	Sala Tipo 4	88
3.3.1.5	Sala Tipo 5	89
3.4	Atualização de Carga	91
3.4.1	Iluminação	91
3.4.2	Demais Cargas	99
3.5	Dimensionamento da Mini Geração Solar	101
4	RESULTADOS	107
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
	REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

Com a constante evolução das tecnologias envolvidas pelo setor elétrico brasileiro e mundial, torna-se uma necessidade a busca por eficiência energética. Para um simples entendimento, segundo (BORGNACKE; SONNTAG, 2009), a eficiência de um sistema é medida pelo quanto ele consegue fornecer de trabalho, energia convertida ou serviço efetivo, com o que é drenado do sistema. Um bom exemplo disto, porém em outra área, seria o motor a combustão, postulante na esmagadora maioria dos veículos automotores utilizados no Brasil. Sua eficiência é medida pela razão com que a energia térmica (explosão dos gases) é convertida na energia mecânica a ser transmitida para as rodas. Assim observa-se que a multiplicidade dos sucessivos processos de transformação energética resultam num rendimento global inferior a 10%. Não existe uma máquina elétrica e (ou) mecânica 100% eficiente do ponto de vista energético, pois independente de quaisquer fatores, há perdas. Os aparelhos elétricos e eletrônicos não fogem à regra, onde o nível de eficiência atual acaba fomentando estudos frequentes para construção de componentes que cumpram sua função de forma mais eficaz.

Quando busca-se reduzir o consumo de energia, pessoas, órgãos públicos e privados, visam primeiramente atingir certa economia financeira mensal ou anual. Porém a busca constante por novas tecnologias pretende alcançar não somente a vantagem no âmbito econômico, procurando também diminuir os poluentes expelidos e contribuir para a preservação do meio ambiente. Para isto, a produção energética proveniente de sistemas poluentes está sendo gradativamente retirada de operação. Entretanto em alguns casos, ao menos, tem-se a consciência desta necessidade, para as situações onde a desativação ainda não é possível. Para que usinas de geração de energia poluentes sejam desativadas, faz-se necessário o investimento no combate ao desperdício de energia e em energias renováveis. Dentre as energias ditas renováveis, temos principalmente as fontes primárias: hidráulica, biomassa, eólica e solar. Assim, subsequentemente ao processo de promoção racional do uso final de energia elétrica, projetou-se uma mini geração, capaz de suprir toda a necessidade energética atual do Campus Alegrete. Porém, prioriza-se o aperfeiçoamento da carga instalada. Fez-se assim necessário, no entanto, proceder a análise de viabilidade técnico-econômica para implementação de uma tecnologia mais eficiente, como LED (*Light Emitting Diode*), LED tubular, Vapor de Sódio, dentre outras.

Baseado no problema da eficiência energética, este trabalho consiste em um estudo de adequação tecnológica para o sistema de iluminação existente na Unipampa - Campus Alegrete. Visando a diminuição da carga instalada, propôs-se a substituição do atual sistema de luminárias T5-2x32W, por luminárias que trabalham com uma Lâmpada LED tubular em sistema 1x21W. Além disto, no trabalho é proposto o dimensionamento e o estudo de viabilidade para implementação de um sistema de mini geração solar que venha a suprir toda necessidade energética do Campus Alegrete. Tomando por base os dados

de carga conhecidos para a Unipampa Alegrete, através do trabalho desenvolvido por (KAEHLER, 2017), será realizada uma análise técnica, simulando em *Software* DIALux. Através do programa efetua-se o estudo de luminotécnica para o uso das lâmpadas LED tubulares que pretende-se adotar. Posteriormente, este retorna a projeção de iluminância no ambiente em questão, que deve atingir os níveis mínimos exigidos de acordo com a norma (ISO, 2013). Estimando a nova carga de iluminação com o sistema eficiente, será atualizada a carga total. Com isto, é realizada a projeção de uma mini geração solar, de maneira análoga ao realizado por (KAEHLER, 2017), buscando analisar o custo de implantação e determinar o tempo de retorno conseguido, considerando a capacidade de geração, para investimento por parte da Concessionária ou diretamente pelo cliente.

1.1 Distribuição do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em 5 principais capítulos, são eles:

- Capítulo 1 - Introdução

Neste capítulo é feita uma leitura da atualidade no que tange os aspectos de eficiência e sua importância, seguida de abordagem geral sobre o tema a ser estudado, delimitando o que será feito no trabalho.

- Capítulo 2 - Contextualização Teórica

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos teóricos utilizados para determinar parâmetros que serão adotados no desenvolvimento do trabalho, de maneira que a familiarização do leitor com estes conceitos visa facilitar o entendimento do estudo como um todo.

- Capítulo 3 - Desenvolvimento

Este capítulo aborda a metodologia adotada detalhadamente para o âmbito da operação de atualização tecnológica na iluminação, esclarecendo o que foi efetivamente realizado e com quais ferramentas. Também é abordado o método adotado para determinar as principais características da mini geração a ser projetada, tendo como base a necessidade energética que a mesma deverá suprir.

- Capítulo 4 - Resultados

Neste capítulo são expressos os resultados de viabilidade técnico-econômica obtidos através do estudo de Iluminação até a projeção do que é possível alcançar com a mini geração solar e viabilidade econômica de implementação.

- Capítulo 5 - Considerações Finais

Este capítulo apresenta breve conclusão sobre os resultados obtidos, destacando ainda uma visão para possíveis estudos futuros.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 Eficiência Energética

Dentre os custos de gerenciamento usuais de uma empresa, seja ela do setor comercial, industrial, de natureza pública ou privada, a Energia vem assumindo um processo de crescimento gradativo e constante. As motivações para isto passam pela necessidade de redução de custos decorrentes do mercado competitivo, a incerteza da disponibilidade energética no médio e longo prazo, ou até mesmo por questões ambientais. De qualquer forma, promover a eficiência energética, em sua essência, consiste em usar o conhecimento de forma aplicada, através dos conceitos de engenharia, economia e da administração aos sistemas e recursos energéticos. Entretanto, dada à diversidade e complexidade destes, é interessante apresentar alternativas técnicas para definir objetivos e ações, afim de melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (PROCEL, 2007).

Para que um serviço de energia seja ofertado com qualidade, segundo o MME (Ministério de Minas e Energia), faz-se necessário um sistema de transformações, transporte e armazenagem, com origem nas fontes de energia disponíveis na natureza, tanto de origem renovável quanto não renovável. O planejamento do setor de energia, de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética do MME, como é frizado por (LUNARDI, 2014), necessita de uma busca maior por alterações, melhorias tecnológicas ao longo do sistema, porém, é importante também a consciência de que, uma melhor organização, gestão e conservação energética por parte de todos os componentes deste sistema, resulta em um melhor desempenho do setor como um todo.

Quando da realização de qualquer ação objetivando Eficiência Energética, deve-se, segundo (PROCEL, 2007), conhecer e diagnosticar a realidade energética, para tão somente a partir disto, estabelecer prioridades, implementar projetos de redução de perdas através de melhorias, bem como acompanhar os resultados obtidos de forma continuada. Este argumento é válido para modificações corretivas e preventivas, ou seja, instalações já existentes ou em processo de concepção, respectivamente em todos os setores, seja comercial, industrial, público ou privado.

De acordo ainda, com (PROCEL, 2007), a gestão energética de uma instalação existente procura seguir algumas medidas dispostas a seguir:

- Conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia e as ações que influenciam esses fluxos, bem como processos e atividades que utilizam a energia relacionando-a à um produto e(ou) serviço;
- Acompanhamento dos índices de controle, como consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e valores médios, contratados, faturados e registrados de

energia;

- Atuação nos índices com implementação de técnicas para buscar a utilização racional dos recursos energéticos, com objetivo na redução do consumo de energia;

Conforme (LUNARDI, 2014) salienta, é de grande importância realizar medidas posteriores de ações planejadas e estruturadas, definindo metas, selecionando responsáveis e efetuando os devidos acompanhamentos através de um programa de gestão energética, com a necessária provisão dos recursos físicos e humanos. De forma genérica e superficialmente falando, um diagnóstico energético pode ser esboçado seguindo alguns passos, são eles:

- Levantamento dos dados Gerais da Empresa em questão;
- Estudo dos materiais, equipamentos e produtos;
- Caracterização do Perfil de Consumo Energético
- Avaliação das possíveis perdas de energia;
- Elaboração de estudos técnicos e econômicos para gerar alternativas que reduzam as perdas;
- Elaboração das conclusões e recomendações.

Todos os passos supracitados devem ser contextualizados na forma de um relatório técnico, documento este que busca evidenciar a necessidade real de implementação das medidas propostas.

No Brasil, quem regula, fiscaliza e legisla sobre programas de eficiência é a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Com relação a própria ANEEL, destaca-se um ponto enfatizado por (BORNE, 2010), onde cita-se a Lei 9.991, de 24 de julho de 2000. Esta lei torna obrigatório o investimento de ao menos 1% da receita operacional líquida de cada concessionária distribuidora em: pesquisa, desenvolvimento e programas de eficiência energética em suas regiões de atuação.

2.2 Iluminação

2.2.1 Iluminação no Brasil

O Livro Iluminação Eficiente (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013) cita uma pesquisa de mercado realizada pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2005), na qual, segundo ele, expõem-se alguns dados sobre a industria brasileira de iluminação. A pesquisa afirma que, das 604 empresas deste ramo, 75% encontravam-se no estado de São Paulo. Dentre estas, 58% na grande São paulo e 17% no interior do

estado. Os 25% restantes, estariam alocadas entre os 3 estados da região Sul, juntamente com os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia e Pernambuco. Ainda segundo a ABILUX, no ano de 2011 as importações representaram 80% do total consumido no País, período em que o setor de iluminação faturou 3,7 Bilhões de reais.

A figura 1,(VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013), apresenta o gráfico que demonstra como se deu a distribuição dos sistemas de iluminação para as diversas formas de uso no Brasil.

A ABILUX realizou ainda, um estudo, apresentado por (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013), onde é estimado o total de lâmpadas utilizadas anualmente nas residências brasileiras. Esta estimativa é melhor descrita ao analisar-se a tabela 1.

Tabela 1 – Lâmpadas utilizadas anualmente nas residências.

Tipo de lâmpada	Total
Incandescente	250 milhões
Fluorescente compacta	200 milhões
Fluorescente tubular	90 milhões
Halógenas	20 milhões
LED	250 mil

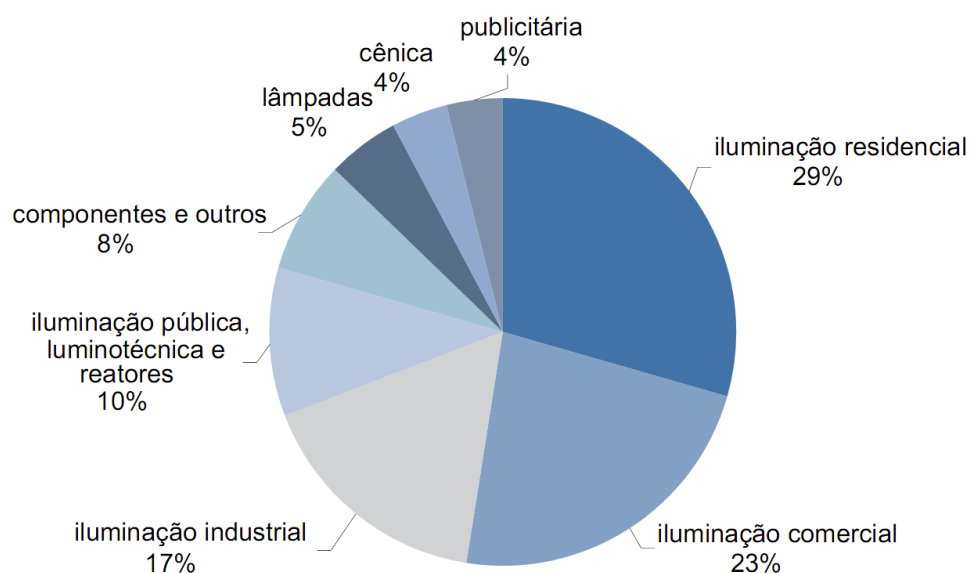


Fig. 1 – Distribuição do Sistema de Iluminação no Brasil (uso final).

O (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013) também fornece a informação de que o consumo referente a iluminação nas residências brasileiras representa cerca de 14% de toda energia elétrica utilizada no âmbito residencial. O valor deste percentual, reescrito para

a atualidade, ultrapassa os 15mil GWh/ano (EPE, 2014). Entretanto, a referida energia exigida ao sistema elétrico é bastante ampliada durante o horário de ponta (Das 19 às 22h). A fim de minimizar o impacto provocado pelo aumento da demanda, em algumas regiões do Brasil, entra em vigor, todos os anos, o horário de verão. O horário de verão consiste de adiantar o horário oficial destas regiões em 1 hora, com isto, têm-se o período de iluminação natural "deslocado", por assim dizer, atrasando o processo de anoitecer. Consequentemente, consegue-se uma redução no uso da iluminação artificial e diminui-se a demanda de energia no horário de ponta.

De acordo com (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013), áreas de uso comum também necessitam de iluminação eficiente, independente de ser uso frequente ou esporádico. Em sua avaliação, avalia-se a eficiência do sistema frente à potência que este consome. O nível de eficiência é denominado por letras, iniciando em A para o sistema mais eficiente, B para o segundo mais eficiente, seguindo sucessivamente, conforme a eficiência decresce, essa classificação é demonstrada por (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013) através do quadro expresso na figura 2.

Tabela 1.2.1 • Critérios para classificação da iluminação artificial de áreas comuns de uso frequente de acordo com o nível pretendido

Dispositivo	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Fluorescentes tubulares	$\eta^* \geq 84 \text{ lm/W}$	$75 \leq \eta < 84 \text{ lm/W}$	$70 \leq \eta < 75 \text{ lm/W}$	$60 \leq \eta < 70 \text{ lm/W}$
Reatores para fluorescentes tubulares	Eletrônicos com Selo Procel Eletrobras	—	Fator de potência $\geq 0,95$	Fator de potência $< 0,95$
Fluorescentes compactas	Selo Procel Eletrobras	ENCE B	ENCE C	ENCE D
LED**	$\eta \geq 75 \text{ lm/W}$	$50 \leq \eta < 75 \text{ lm/W}$	$30 \leq \eta < 50 \text{ lm/W}$	$\eta < 30 \text{ lm/W}$
Lâmpadas de vapor de sódio	Selo Procel Eletrobras	ENCE B	ENCE C	ENCE D
Reatores para lâmpadas de vapor de sódio	Eletromagnéticos com Selo Procel Eletrobras	—	Fator de potência $\geq 0,90$	Fator de potência $< 0,90$
Automação na iluminação intermitente	Sim	—	Não	—

* η : Eficiência luminosa ** Light Emitting Diode (diodo emissor de luz) - (Brasil, 2012)

Fig. 2 – Classificação da Iluminação Artificial em Áreas Comuns (Níveis de Eficiência)

2.2.2 Iluminação Natural e Artificial

A iluminação natural de um ambiente interno não resulta, isolada e diretamente, em economia de energia, porém, de acordo com (COPETTI, 2013), pode-se alcançar um elevado potencial para economia de energia utilizando-se a iluminação natural como uma

fonte de luz complementar para ambientes internos. Conseqüentemente, existindo o auxílio natural torna-se possível uma redução na carga de iluminação artificial, evidenciando portanto, a contribuição indireta da iluminação natural na economia.

As aberturas projetadas nas superfícies verticais e horizontais das edificações, são os meios de entrada para os recursos naturais na iluminação de interiores. A iluminação natural tem como suas principais variáveis a radiação solar direta e difusa, a nebulosidade e os níveis externos de luminosidade, os quais dependem das questões climáticas e a localização geográfica.(PROCEL, 2007)

Seguindo a linha de raciocínio estabelecida por (COPETTI, 2013), pode-se dizer que a Iluminação natural, mesmo com sua dependência sazonal e climática, com possibilidade de aleatoriedade na incidência, deve ser avaliada para projetos luminotécnicos onde busca-se acionar a iluminação artificial somente na carência do recurso natural.

Segundo (EFFICIENCY, 1995), um ambiente iluminado corretamente através de iluminação natural e sistemas de controle de iluminação artificial, pode resultar em economia de energia entre 30 e 70% na iluminação. Porém, de acordo (PEREIRA, 1997) a adequada distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis, tais como: Disponibilidade da luz natural, obstruções externas, tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas, características óticas da área envidraçada, tamanho e geometria do ambiente e refletividade das superfícies internas. A eficiência da luz natural depende da iluminação da abóbada celeste, do ângulo de incidência da luz, da cor empregada no ambiente e da cor e natureza dos vidros por onde penetra a luz (PARIZOTTO, 2001).

2.2.3 Conceitos Básicos

De acordo com o que expressa (COSTA, 2006), são as Leis da Ótica Energética e Fotometria que regem as grandezas básicas utilizadas em iluminação. Enquanto a ótica energética é mais abrangente e atinge todo o domínio da iluminação, a fotométrica relaciona-se diretamente com o ato de ver.

Segundo (COSTA, 2006), dentre as grandezas, três são fundamentais: massa, comprimento e tempo. Porém, de forma complementar, outras grandezas são utilizadas. A quarta considerada denomina-se Intensidade Luminosa, expressa em candelas (Cd). As demais grandezas são na verdade derivadas da intensidade luminosa e abrangem o âmbito geométrico.

2.2.3.1 Ângulo Plano

Através de uma circunferência que possui o centro denominado "O" e o raio "R", além de um arco de comprimento "S" e um ângulo central ao arco, denominado α , determina-se

a medida do arco em radianos, conforme é demonstrado pela Figura 3

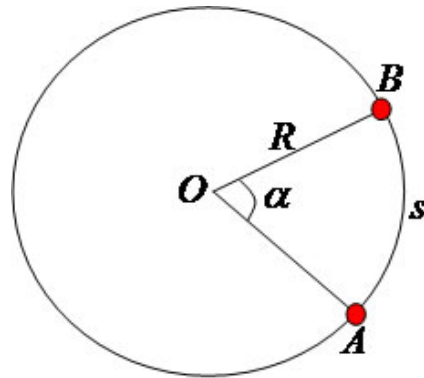


Fig. 3 – Representação Ângulo Plano (Rad)

Onde:

- S = Comprimento do Arco [m];
- R = Raio do Círculo [m];
- α = Ângulo Plano [Rad].

O valor do ângulo é dado pela divisão do Arco pelo Raio, através da 2.1

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad (2.1)$$

2.2.3.2 Ângulo Sólido

O ângulo sólido é espacial, tem seu vértice no centro da esfera, cuja área de superfície é igual ao quadrado do seu raio. Para um melhor entendimento, a Figura 4 (REA, 2000).

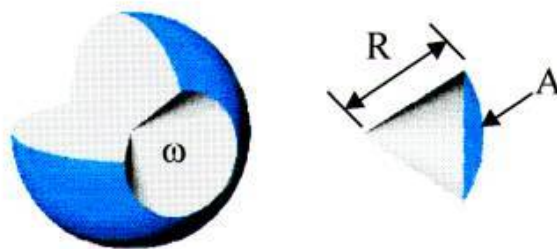


Fig. 4 – Representação Ângulo Sólido (Sr)

O valor do Ângulo Sólido (ω) é obtido através da equação 2.2.

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad (2.2)$$

Onde:

- $A = \text{Área da Superfície da Esfera } [m^2] = 4.\pi.R^2$
- $R = \text{Raio do Circulo } [m]$
- $\omega = \text{Ângulo Sólido } [Sr]$

2.2.3.3 Fluxo Luminoso

Conforme expresso por (COSTA, 2006), o fluxo luminoso é a potência luminosa emitida por uma fonte, em todas as direções, sob a forma de luz, sendo avaliada pelo olho humano. O fluxo luminoso é medido em Lúmens [lm]. O lúmen representa a quantidade de luz irradiada por uma fonte de luz com intensidade igual a 1 candela, através de uma abertura de $1m^2$ feita na superfície de uma esfera com raio = 1m. A fonte é alocada no interior da esfera, de forma centralizada. Ainda segundo (COSTA, 2006), 1 candela emite de maneira uniforme, 12,56 lúmens quando considerado o raio = 1m.

Apesar de o fluxo luminoso ser dito potência de irradiação luminosa, sua unidade não poderia ser dada em Watts pois depende da sensibilidade do olho humano, o qual possui uma faixa limitada para percepção de cores, abrangendo um comprimento de onda que vai desde os 380nm (cor violeta) até os 780nm (cor vermelha). Conforme (COSTA, 2006), uma radiação monocromática de comprimento de onda = 555nm, com 1W, é o equivalente à 683 lúmens. Esse valor é então denominado de Watt Luminoso, sendo o número de lúmens obtidos com cada Watt. Há uma definição na qual o fluxo luminoso é considerado uma derivada do chamado Fluxo Radiante "e", pela avaliação da radiação, de acordo com ação sobre o observador fotométrico padrão CIE (COSTA, 2006).

Falando em termos matemáticos, tem-se a equação 2.3:

$$\phi_n = K_m \int_{380}^{780} \frac{\partial \phi_e(\lambda)}{\partial \lambda} V(\lambda) \partial \lambda \quad (2.3)$$

Onde:

- $\partial \phi_e(\lambda) = \text{É a distribuição Espectral do Fluxo Radiante } [W]$
- $V(\lambda) = \text{É a Eficiência Luminosa espectral};$
- $K_m = \text{É o valor do Watt Luminoso, lúmens obtidos com 1 Watt};$
- $\phi_n = \text{O Fluxo Luminoso } [lm].$

De acordo com (PROCEL, 2007), cabe salientar um problema existente com relação à diminuição do fluxo luminoso das lâmpadas. Este decréscimo pode ocorrer pelo acúmulo

de sujeira (poeira) nas luminárias juntamente com as lâmpadas, o que por sequência, provocaria a redução gradativa da Iluminância conseguida pelo sistema. Limpezas periódicas podem trazer benefícios notáveis.

2.2.3.4 Iluminância

De acordo com (FERREIRA, 2010) Iluminância é o fluxo luminoso (lúmen) incidente em uma superfície, por unidade de área (m^2). Sua unidade é o lux. Um lux corresponde a iluminância em uma superfície plana com $1m^2$ de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de 1 lúmen. Na literatura também encontra-se o termo iluminamento para referir-se à iluminância. A seguir temos alguns exemplos de Iluminância encontrada no cotidiano:

- Dia Ensolarado, no verão, a céu aberto = 100.000 lux
- Dia com Sol encoberto por nuvens, no verão = 20.000 lux
- Iluminação Artificial de um Escritório = 500 lux
- Boa iluminação pública = 40 lux
- Uma vela a 1 metro de distância = 1 lux
- Noite à luz das estrelas = 0,01 lux

O conceito de iluminância, está de qualquer forma atrelado a outras duas características, o Fluxo Luminoso e a Intensidade Luminosa, desta forma a representação dos três conceitos, está explícita pela figura 5.

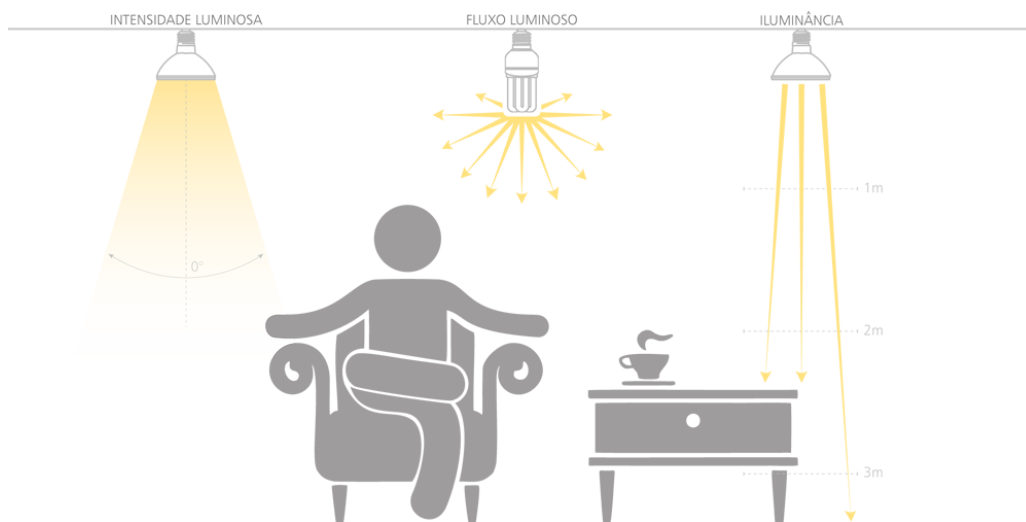


Fig. 5 – Representação de Iluminância, Fluxo Luminoso e Intensidade Luminosa. [EMPALUX]

O cálculo da Iluminância é dado através da equação 2.4

$$E = \frac{\Psi}{S} \quad (2.4)$$

Onde:

- E = Iluminância;
- Ψ = Fluxo Luminoso;
- S = Superfície Plana.

2.2.3.5 Medição de Iluminância

Quando deseja-se conhecer os níveis de iluminância em interiores, realiza-se a medição correspondente com o auxílio de um fotômetro, calibrado, em lux, aqui chamado: Luxímetro, como mostra a figura 6 .



Fig. 6 – Exemplo de um Luxímetro Digital ICEL LD-800 Aferido, com Certificação.

Para efetuar o levantamento da Iluminação Artificial, seguindo o que entende-se pela norma (NBR, 1992) e descrito (FERREIRA, 2010), inicia-se o levantamento delimitando os pontos de medição, são eles:

- Pontos P – nos dois cantos do ambiente (diagonal oposta);
- Pontos L – pontos entre as paredes transversais e a coluna de luminárias mais próxima;

- Pontos T – pontos entre as paredes longitudinais e a linha de luminárias mais próxima;
- Pontos C – pontos distribuídos no centro do ambiente.

Cabe ressaltar que as medições de iluminação artificial exigem portas e janelas fechadas, realização preferencialmente à noite, com a iluminação artificial em pleno funcionamento.

Após a medição de todos os pontos, faz-se a média para cada tipo de ponto medido. Com isso, têm-se os dados necessários para realizar-se o cálculo do Nível de Iluminância Média (E_m), o qual é expresso pela Equação 2.5

$$E_m = \frac{[MP + MT \cdot (n - 1) + MC \cdot (n - 1) \cdot (m - 1) + ML \cdot (m - 1)]}{m \cdot n} \quad (2.5)$$

Onde:

- n = número de luminárias em cada linha;
- m = número de linhas;
- MC = média dos pontos C;
- ML = média dos pontos L;
- MT = média dos pontos T;
- MP = média dos pontos P.

2.2.3.6 Intensidade Luminosa

Conforme descrito por (COPETTI, 2013), Intensidade Luminosa é a relação, num ângulo sólido, entre o fluxo luminoso e o valor desse ângulo sólido, em torno de uma direção específica, ou seja, intensidade luminosa nada mais é do que o índice de fluxo luminoso emitido em uma determinada direção, o que representa-se pela equação 2.6.

$$I = \frac{d\Psi}{d\beta} \quad (2.6)$$

Ainda de acordo com (COPETTI, 2013), a intensidade luminosa de uma lâmpada ou luminária varia de acordo com a direção. Através do mapeamento da intensidade luminosa no entorno da luminária ou da lâmpada, é determinada a distribuição da intensidade. Esta distribuição de intensidade é comumente representada por um diagrama, polar ou linear.

2.2.3.7 Lei do Inverso do Quadrado

Segundo a Lei do Inverso do quadrado, o Iluminamento médio, cai com o quadrado da distância à fonte luminosa.

A figura 7 de (LUNARDI, 2014), apresenta uma representação gráfica do que acontece com o iluminamento conforme aumenta-se a distância da fonte luminosa.

A equação 2.7 mostra a dedução feita.

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta\omega \cdot d_1^2}{\Delta\omega \cdot d_2^2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad (2.7)$$

Aplicando-se então a equação do fluxo, obtêm-se a igualdade representada pela equação 2.8.

$$I = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\left(\frac{S_d}{d_d^2}\right)} = \frac{\Delta\varphi}{S_d} \cdot d_d^2 = E_d \cdot d_d^2 \quad (2.8)$$

Resultando no iluminamento médio à uma distância "d" da fonte luminosa [Ed], representado na equação 2.9.

$$E_d = \frac{I}{d^2} \quad (2.9)$$

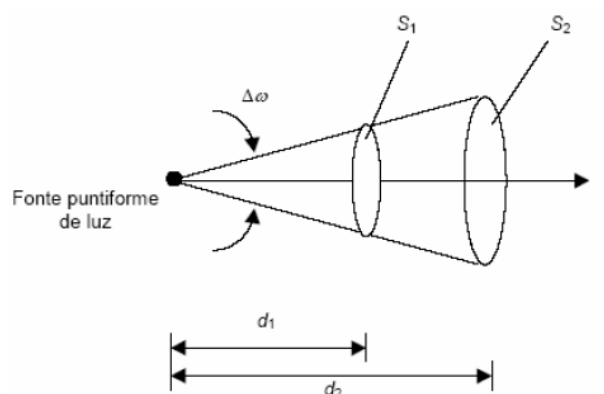


Fig. 7 – Demonstração da Lei do Inverso do Quadrado

A figura 8, de (VIEIRA; LARA; AMARAL, 2014) fornece uma representação em 3D do iluminamento, promovendo melhor entendimento da Lei do Inverso do Quadrado.

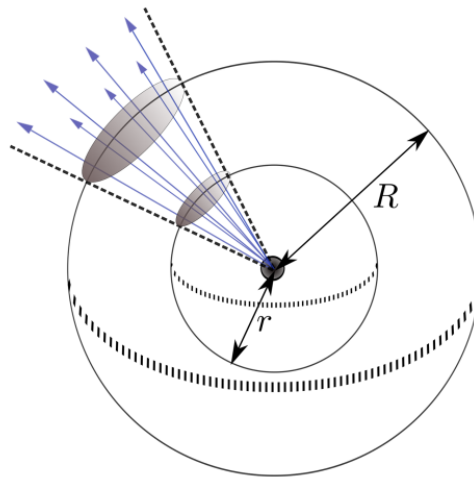


Fig. 8 – Lei do Inverso do Quadrado [Esfera Projeção 3D]

Analisando a figura 9, pode-se visualizar a luz passando pelo primeiro quadrado a uma distância arbitrária da fonte ($d = 1$). Ao se afastar, dobrando a distância da fonte para $d = 2$, a luz do quadrado original agora se espalha por uma área de 4 quadrados. Assim, à duas vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um quadrado simples será de $1/4$ da intensidade original. Triplicando a distância original ($d = 3$), a luz do quadrado original agora cobre uma área de 9 quadrados. Assim, em três vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um único quadrado será $1/9$ da intensidade original. Isto é o que se entende por "lei do quadrado inverso." À medida que você se afasta de uma fonte de luz, a intensidade da luz em cada segmento é reduzida na proporção $\frac{1}{d^2}$.

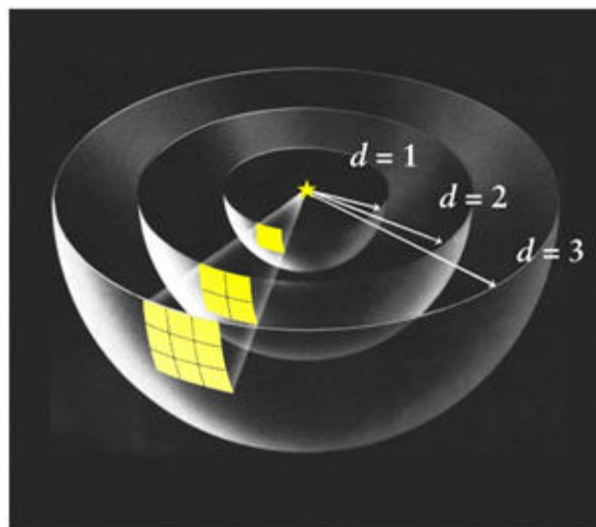


Fig. 9 – Projeção através das superfícies, demonstrando redução proporcional ao quadrado da distância

2.2.3.8 Iluminamento Horizontal

A soma das contribuições de fluxo luminoso de todas as luminárias, em um ponto específico do plano horizontal, recebe o nome de Iluminamento Horizontal. A equação que o rege é deduzida utilizando-se da lei dos cossenos. Para isto, o iluminamento médio na superfície depende da relação entre a superfície plana e a direção da intensidade luminosa. O Ângulo formado entre as normais das duas superfícies, quando deduzido em função de seu cosseno, resulta na fórmula do Iluminamento Horizontal. Para melhor entendimento, na figura 10 fica expressa uma demonstração gráfica dos elementos.

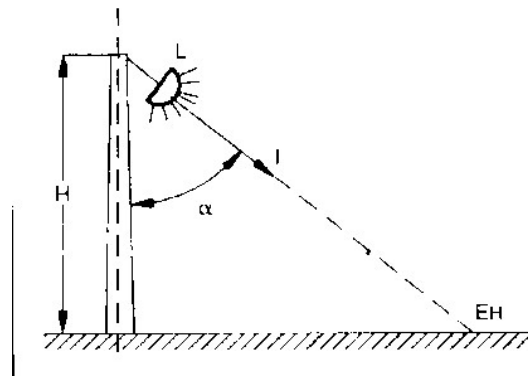


Fig. 10 – Definição Iluminamento Horizontal

Os elementos da figura 10 são:

- E_h - Iluminamento Horizontal [lux];
- I - Intensidade do Fluxo Luminoso [Cd];
- α - Ângulo entre uma direção específica do fluxo luminoso e a linha de centro da lâmpada;
- H - Altura Vertical da luminária [m];
- D - Distância da Luminária até o ponto a iluminar-se [m].

Dedução na igualdade da Equação 2.10:

$$I = \frac{I(\alpha)}{D^2} = \frac{I(\alpha)}{\left(\frac{H}{\cos\alpha}\right)^2} = \frac{I(\alpha)}{H^2} \cdot \cos^2(\alpha) = \quad (2.10)$$

Logo, se este é o valor de E_P , basta substituir na equação 2.11:

$$E_h = E_P \cdot \cos\alpha \quad (2.11)$$

Por fim, obtêm-se a equação 2.12:

$$E_h = \frac{I(\alpha) \cdot \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (2.12)$$

2.2.3.9 Iluminamento Vertical

O termo Iluminamento Vertical, de acordo com (LUNARDI, 2014), refere-se às contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias somadas, em um ponto específico do plano vertical. Detalhe na figura 11.

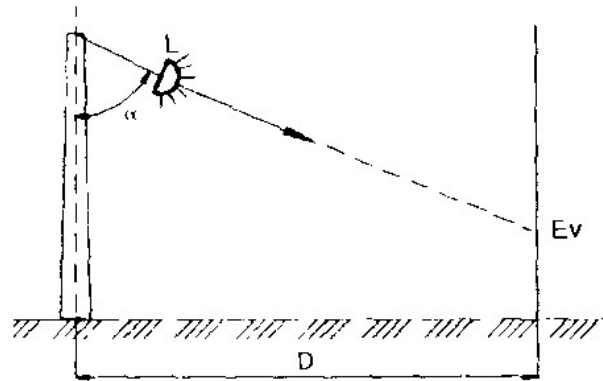


Fig. 11 – Definição Iluminamento Vertical

Os parâmetros da figura 11 são:

- E_v = Iluminamento Vertical [lux];
- I = Intensidade do Fluxo Luminoso [Cd];
- α = Ângulo entre uma direção específica do fluxo luminoso e a linha de centro da lâmpada;
- D = Distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical [m].

A Equação 2.13 demonstra o cálculo do iluminamento vertical.

$$E_v = \frac{I \cdot \sin^3 \alpha}{D^2} \quad (2.13)$$

2.2.3.10 Eficiência Luminosa

Segundo (COPETTI, 2013), eficiência luminosa é dada pela relação entre o fluxo luminoso total emitido por uma fonte e a potência absorvida pela mesma. Sendo medida em lm/W. A eficiência é expressa pela equação 2.14:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (2.14)$$

Onde:

- η = Eficiência Luminosa [lm/W];
- P = Potência Consumida [W];
- ϕ = Fluxo Luminoso total [lm].

As lâmpadas apresentam fluxos luminosos diferentes para consumos de potências diferentes, a relação entre os dois termos determina o quanto são eficientes. Desde a virada do século, a tecnologia LED vem obtendo um crescimento na utilização, superando tecnologias até então tradicionais e ofertando maior eficiência. A figura 12, extraída de (LUNARDI, 2014), faz uma projeção de predominância no uso de lâmpadas em um horizonte até o ano de 2020.

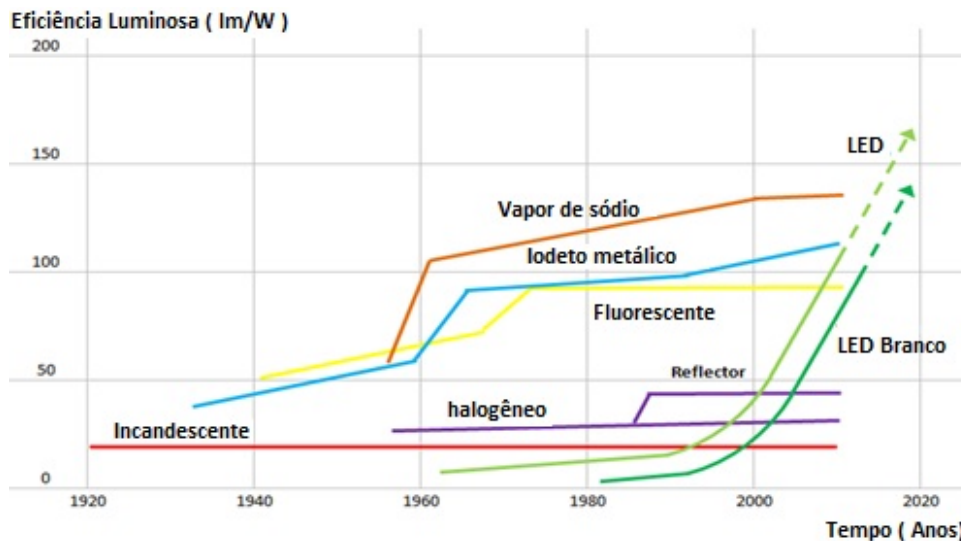


Fig. 12 – Tendência para tecnologias de iluminação até 2020

A eficiência global de uma luminária depende de diversos fatores, dentre eles:

- Conformidade da Luminária;
- Características Materiais (Opaco, Alumínio Alta-Refletância);

- Grau de Reflexão;
- Altura do foco;
- Diâmetro da Lâmpada.

Para exemplificar como os parâmetros supracitados influenciam na irradiação do fluxo e conseqüentemente na eficiência global da luminária, são expressos na figura 13.

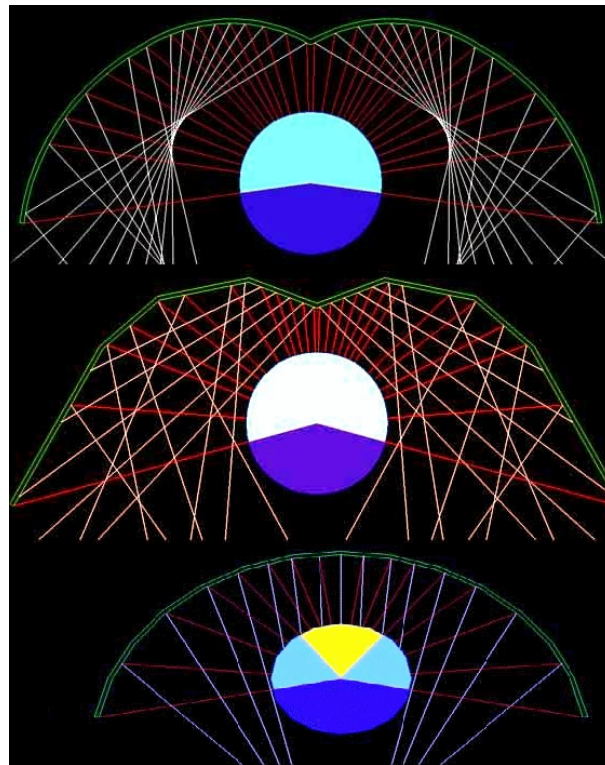


Fig. 13 – Exemplos de conformidades de luminárias

A figura 14 possui diferentes tipos de conformidades, variando características da lâmpada e conseqüentemente alterando os ângulos de abertura de suas curvas de distribuição luminosa.

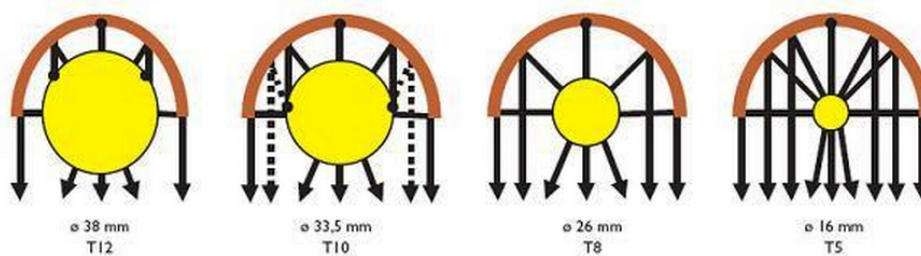


Fig. 14 – Conformação em função do tipo de lâmpada

2.2.3.11 Fotometria

A norma CIE 121-1996 . A CIE 121- é um relatório técnico que apresenta os requisitos gerais para a fotometria de lâmpadas e luminárias de quase todos os tipos, estabelecendo os procedimentos fotométricos para realização de algumas medições, dentre elas:

- Intensidade Luminosa;
- Distribuição de Luz;
- Fluxo Luminoso;
- Luminância;
- Iluminância.

Para isto, utiliza-se do goniofotômetro e da esfera de integração, sendo que ambos são capazes de realizar a medição de parâmetros colorimétricos. Parâmetros colorimétricos consistem na distribuição de energia, coordenadas de cromaticidade, comprimento de onda dominante, temperatura de cor, índice de restituição de cor, dentre outros.

Para que a realização de fotometria seja bem sucedida, a norma inclui algumas informações importantes:

- Condições de teste padrão em que deve-se realizar os testes, com tolerâncias de práticas aceitáveis;
- Processos de seleção de lâmpadas e luminárias;
- Procedimentos para a medição correta das características fotométricas.

A figura 15, da norma CIE 121, detalha como é feito o processo de medição de uma luminária, a orientação dos planos e toda análise dos sistemas de coordenadas fotométricas das luminárias. Esta análise é feita com base na rotação angular aplicada a luminária, utilizando um equipamento denominado goniofotômetro. Utilizado para definir uma estrutura espacial em torno da luminária, o goniofotômetro é um equipamento mecânico para o apoio e o posicionamento da luminária ou lâmpada, anexo a ele, tem-se os dispositivos para aquisição e processamento dos dados, em geral conectado a um microcomputador. Os princípios da construção e seleção de goniofotômetros são cobertos na publicação CIE 70.

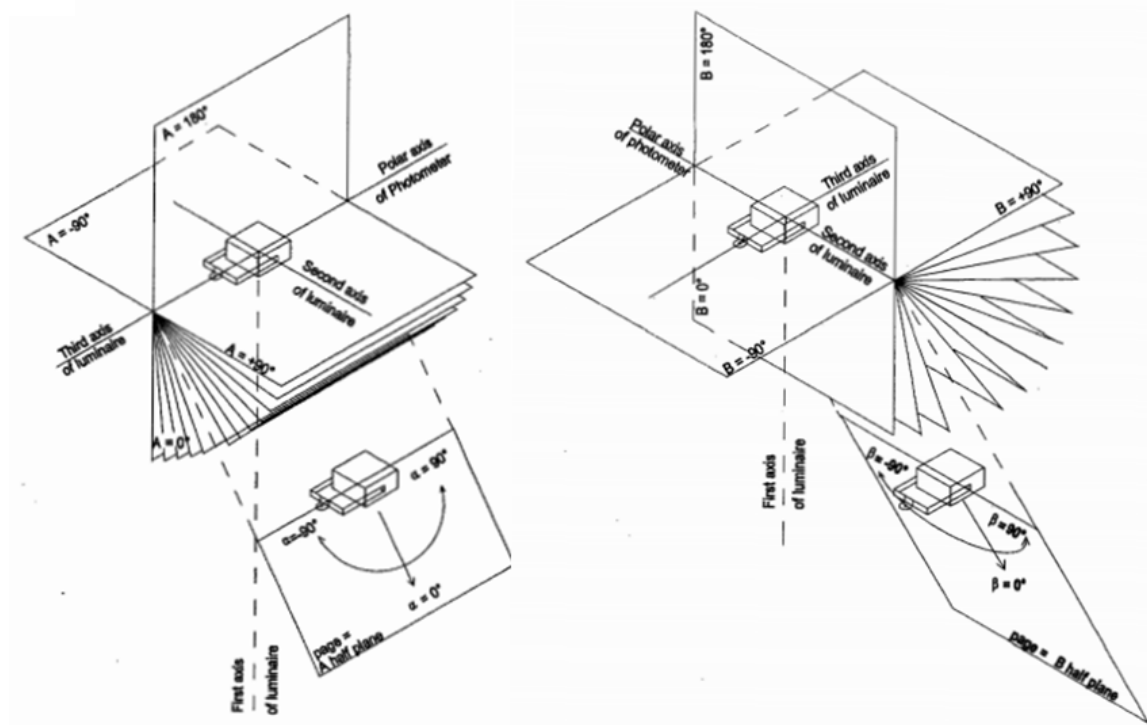


Fig. 15 – Orientação para medição de luminária no Goniofotômetro

A figura 15 facilita um entendimento do âmbito geral, de como são realizadas as medições das luminárias no goniofotômetro. O Sistema de planos de medição em geral mede a intensidade luminosa de uma luminária em planos variados. A intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz em todas as direções é conhecida como distribuição luminosa. As fontes de luz comumente utilizadas na prática tem uma forma cuja intensidade de radiação é afetada pela construção da própria fonte, apresentando valores muito distintos para algumas direções. Com isto, é construída o que chama-se de Curva de Distribuição Luminosa, a qual é construída utilizando-se o já citado goniofotômetro. A Figura 16 permite uma visualização da curva de distribuição de uma lâmpada incandescente.

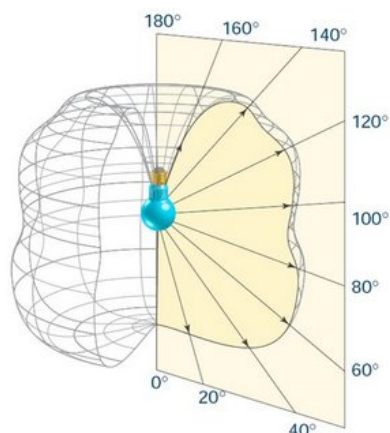


Fig. 16 – Curva de Distribuição Luminária de uma lâmpada incandescente

Além da curva de distribuição luminosa (CDL) apresentada da forma expressa pela figura 16, é comum sua representação utilizando coordenadas polares, em uma forma conhecida apenas como Curva Fotométrica, como por exemplo, a ilustrada na Figura 17, que representa a curva de uma luminária da PHILIPS TCS 460 – TL5 28W.

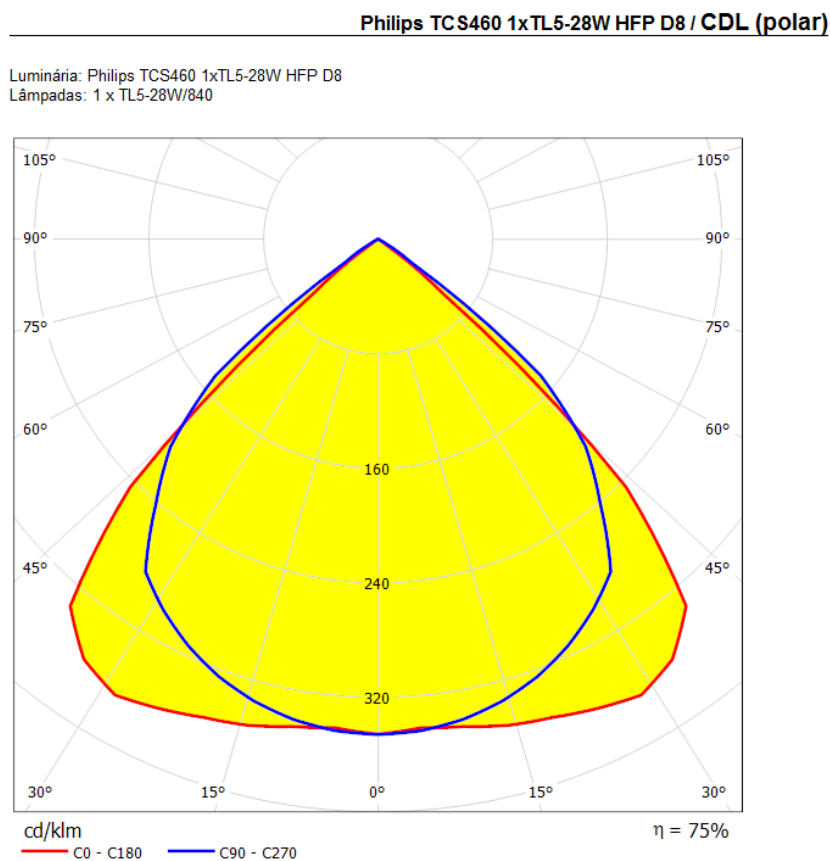


Fig. 17 – CDL luminária PHILIPS TCS 460- TL5 28W

2.2.4 Luminárias

Luminárias, ainda segundo (FERREIRA, 2010), assim é chamado o componente que suporta a(s) lâmpada(s) e modifica a distribuição espacial do fluxo luminoso por ela(s) emitido, sendo composta por Refletor, Difusor, Aletas e Soquete.

O Refletor direciona o fluxo luminoso da lâmpada. Pode ser constituído de vidro espelhado, plástico espelhado ou chapa de alumínio polida, esta última sendo a mais utilizada, pois é mais leve, possui alto índice de refletância, melhor resistência mecânica e menor custo. Está intimamente atrelado ao rendimento da lâmpada, uma vez que, se tiver um formato inadequado, pode fazer com que os raios de luz retornem em direção à fonte, aumentando a tensão de arco da lâmpada. Por esse motivo, alguns refletores são ajustáveis (SALES, 2011).

O Difusor (refrator) é utilizado para proteção da lâmpada e do refletor, além de

direcionar a luz proveniente de ambos. Fica localizado do lado oposto ao refletor. Deve ser projetado juntamente com o refletor, podendo ser construído em vidro temperado, policarbonato de alta transmitância (Permissão à passagem luminosa), ou acrílico (LOPES, 2002).

As Aletas são acessórios localizados transversalmente à lâmpada com o intuito de direcionar o fluxo luminoso. Soquete é o componente que fixa a lâmpada à luminária e permite o contato com a energia elétrica.

Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Ao avaliar uma luminária, sua eficiência e características de emissão são consideradas importantes. Isto fica evidenciado no que relaciona a luminosidade refletida pela luminária com a emitida pela lâmpada. Portanto, parte do que a lâmpada emite (luminosidade) é absorvida pela luminária, sendo o restante emitido no espaço.

2.2.5 Iluminação e a nova norma regulamentadora

Até o ano de 2013, as normas válidas para o estudo luminotécnico de interiores eram a NBR5413 e a NBR5382. Neste conceito, a norma NBR5413 era a responsável por determinar o nível de iluminância mínimo aceitável para cada ambiente.

Sem revisão desde 1992, a norma NBR 5413 determinava três níveis de iluminância aceitáveis para cada tipo de ambiente, variando de acordo com as características deste. O procedimento funcionava da seguinte forma: Para Salas de Aula, por exemplo, têm-se os níveis de 200, 300 ou 500 luxes. Considerando os fatores expressos na Tabela 2, determinava-se o peso para cada característica e posteriormente efetuava-se a soma dos mesmos. Para resultado igual a -2 ou -3, utilizaria-se o valor mínimo (200 luxes), para peso final igual a +2 ou +3, usar-se-ia a maior iluminância descrita (neste caso, 500 luxes). Para todos os outros resultados possíveis adotava-se a iluminância média (300 luxes).

Tabela 2 – Determinação do nível mínimo de Iluminância exigido por norma

Características da tarefa e do Observador	Peso		
	-1	0	1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e Precisão	Sem Importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da Tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Porém, válida desde 21 de abril de 2013, a nova norma regulamentadora, ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, determina novos critérios para o projeto de iluminação de interiores. Segundo (COPETTI, 2013), a nova norma cancela e substitui as anteriores, sendo atualmente a norma a ser respeitada para qualquer projeto de Iluminação de interiores.

Os principais acréscimos segundo (ISO, 2013) são relacionados com a adoção de

iluminação de tarefa, bem como aspectos quantitativos, como o controle de ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo para a realização da tarefa em questão. Na zona de trabalho, tem-se agora uma área denominada como "Entorno imediato à área da tarefa", estabelecendo esta como uma envoltória à área de trabalho, com 0,5m de largura. A denominação exposta logo acima, é exemplificada através da figura 18, da (ISO, 2013) a qual retrata um ambiente de trabalho.

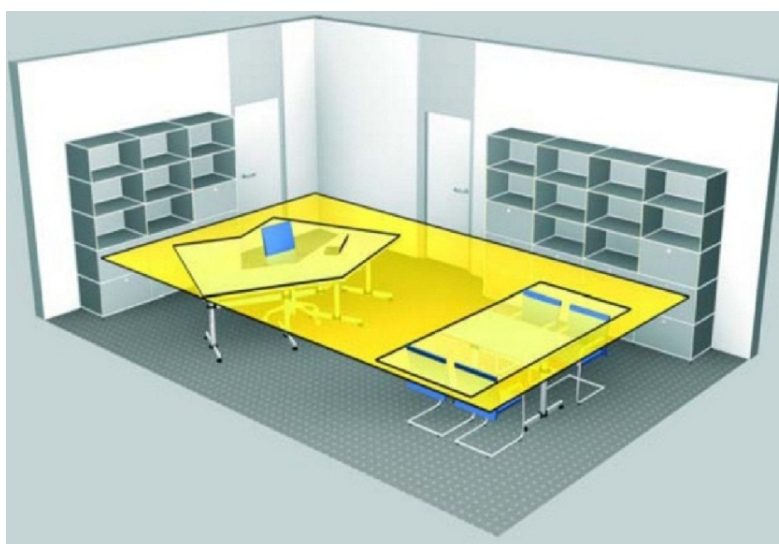


Fig. 18 – Zona de Trabalho - Entorno imediato

Segundo (ISO, 2013), no entorno imediato da zona de trabalho, a iluminância pode ser inferior àquela da tarefa, porém a mesma deve ter alteração de forma suave e gradativa. A norma busca ainda valorizar alguns aspectos como o Ofuscamento, o qual é classificado em:

- Ofuscamento Confortável;
- Ofuscamento Inabilitador;
- Ofuscamento Refletido.

A norma faz ainda recomendações pontuais sobre o aspecto de cor para algumas atividades (referente à Temperatura de Cor Correlata), determinando níveis mínimos de acordo com a atividade. Quanto à reprodução de cores (RA), recomenda-se a não utilização de lâmpadas com RA menor que 80 para interiores.

2.3 Novas Tecnologias versus Tecnologias Conhecidas

De acordo com (XAVIER, 2005), desde a sua invenção na década de 30, as lâmpadas fluorescentes têm sido bastante utilizadas, passando a ser a principal forma de iluminação

artificial utilizada no mundo, isto devido à alta eficiência que alcançaram, combinada à longa durabilidade quando comparadas às antigas lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas fluorescentes tubulares são compostas por um tubo de vidro revestido internamente com compostos de fósforo. O anodo e o catodo ficam nas extremidades do tubo, feitos de tungstênio ou aço inox, a depender do fabricante. Em seu interior, há geralmente um gás inerte, como argônio, neônio ou xenônio, juntamente com mercúrio a baixa pressão, de acordo com (JÚNIOR; WINDMOLLER, 2008).

Conforme o expresso por (YOSHIDA; PORTELINHA, 2013), ao energizar-se a lâmpada, a corrente elétrica passa através dos gases, onde então ocorre o choque dos elétrons com as moléculas do vapor de mercúrio, excitando-as ao ponto destas liberarem energia em forma de radiação ultravioleta, que por sua vez, ao colidir com os compostos de fósforo nas paredes do tubo de vidro, é convertida em luz visível.

Algumas lâmpadas necessitam de componentes auxiliares para o início de seu funcionamento, estes equipamentos, denominados reatores, segundo (YOSHIDA; PORTELINHA, 2013) são essenciais para as lâmpadas de mesma constituição que as fluorescentes (de descarga). Basicamente, (XAVIER, 2005) diz que os reatores fornecem um pico de tensão inicial para "partida" da lâmpada, e após o funcionamento, sua função é regular a intensidade de corrente quando em regime permanente, visando prolongar a vida útil da lâmpada ao evitar maiores oscilações.

Os Diodos Emissores de Luz (*Light-Emitting Diodes*) estão se popularizando com o passar do tempo, ganhando fama por sua alta eficiência, com cada vez mais qualidade de iluminamento. Mais conhecidos pela sigla LED, como seu próprio nome diz, são diodos que emitem luz. Os diodos, por sua vez, são dispositivos eletrônicos feitos de materiais semicondutores, permitindo a passagem de corrente elétrica somente em um sentido. Os semicondutores comumente utilizados são, na maioria dos casos, germânio ou silício. Estes então são enriquecidos por outros materiais afim de criar as chamadas junções p-n do diodo, de acordo com (BOYLESTAD; NASHELSKY; MONSSEN, 2002).

A junção do tipo N é produzida, conforme (BOYLESTAD; NASHELSKY; MONSSEN, 2002), adicionando-se materiais à base do silício ou germânio. Considerando que tanto o Silício quanto o Germânio possuem 4 elétrons em sua camada de valência, as impurezas que costumam ser adicionadas possuem 5 elétrons, gerando uma ligação covalente entre a base e a impureza. Alguns dos materiais utilizados como impurezas são Arsênio, Antimônio, Fósforo, dentre outros. De maneira análoga, é constituída a junção do tipo P, porém, nesta são adicionados materiais com apenas 3 elétrons na camada de valência, materiais tais como: índio, boro e gálio.

A figura 19, proveniente de (SILVA et al.,), expõe a representação interna de um Diodo, demonstrando o processo de emissão de luz pelo LED.

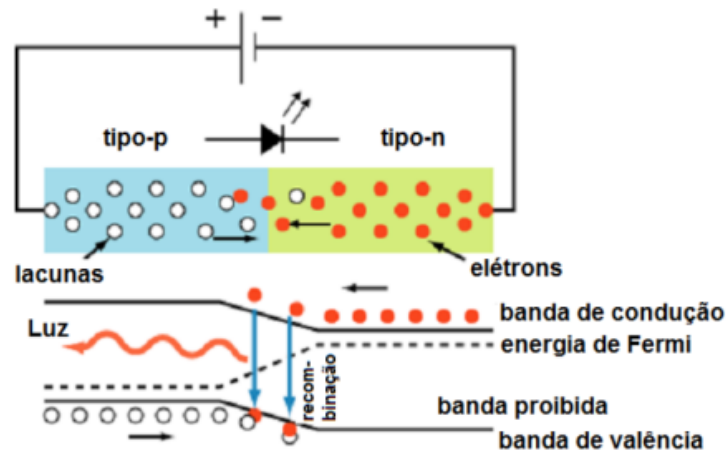


Fig. 19 – Processo de Emissão de Luz pelo LED

O desenvolvimento de tecnologias que empregam LEDs como soluções eficientes e econômicas tornou-se crescente, de forma a ocupar um lugar de destaque nos sistemas de iluminação.

Porém, ainda há lâmpadas fluorescentes tubulares de descarga, as quais receberam modificações construtivas (em relação aos compostos de fósforo) por parte de seus fabricantes e atingem níveis muito bons de eficiência, como por exemplo a lâmpada já exposta aqui através da figura 17, a TL5 de 28W da Philips.

Comparando-se a curva fotométrica da lâmpada supracitada com os últimos lançamentos da marca em LED tubular, é possível mensurar diferenças entre as tecnologias.

A curva de uma das lâmpadas LED mais eficientes produzidas pela Philips até o momento, é dada pela figura 20



Fig. 20 – Curva Fotométrica divulgada pelo fabricante.Philips BPS460 1xLED24 830

2.4 Minigeração Solar

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das mais promissoras alternativas energéticas para obter-se a energia necessária ao desenvolvimento humano. Duas vantagens notáveis são destacadas para a energia fotovoltaica, a possibilidade de fabricação dos equipamentos em larga escala, e a possível utilização desta tecnologia para pequenas coisas, como por exemplo uma calculadora de mão, ao mesmo tempo em que é empregada para projetos maiores, como usinas de geração fotovoltaica por exemplo. A principal desvantagem da geração solar está justamente na intermitência do sol, ou seja, um recurso que não encontra-se sempre disponível, e ainda assim depende das condições climáticas.

No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para o ano de 2014, a matriz é predominantemente renovável, sendo que a maior parte da energia gerada é proveniente de geração hidrelétrica, correspondendo à 65,2% da produção total de energia no país, com cerca de 410TWh de energia gerada (ENERGÉTICA, 2015).

Conforme expõe (KUHN, 2013), mesmo com a abundante matriz energética brasileira, há uma parte da população que ainda enfrenta problemas de suprimento energético em suas regiões, o desenvolvimento de atividades econômicas e até mesmo o bem estar pessoal acabam por ser comprometidos. Para esta parcela da população, a energia fotovoltaica surge como uma possível solução para minimizar as dificuldades. Ainda de acordo (KUHN, 2013), o Plano Nacional de Energia 2030, considera o sistema fotovoltaico como uma grande promessa para a geração distribuída. A geração de energia fotovoltaica, porém, ainda não representa uma quantia significativa na geração de energia em território nacional como um todo, apesar de que, a disponibilidade do recurso solar supera países como a Alemanha.

2.4.1 Resoluções Normativas

A resolução normativa nº482,2012, da ANEEL, permitiu ao usuário realizar a troca de energia com a rede, quando entrou em vigor, no ano de 2012. Até então, 99% dos painéis em operação no país eram usados em regiões isoladas, sem conexão com a rede elétrica. Porém, a partir da resolução, a energia fotovoltaica e suas atribuições, começaram a crescer no país. Entretanto, com a entrada em vigor da Resolução Normativa no. 687 de 24 de novembro de 2015, a partir de 01 de março de 2016, a Resolução 482 da ANEEL sofreu grandes atualizações, impactando diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e mini geradores distribuídos, pois cria novos nichos de consumidores e possibilidades de negócios (SANTOS, 2016).

A nova resolução também diminui o processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia. Das principais alterações, destaca-se

o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos, que passou de 36 para 60 meses e o período para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária que passou de 82 para 34 dias. Além disto, a potência limite quanto à classificação em micro e mini geração também foi alterada (ANEEL, 2016):

- Micro geração - Fica definido como micro gerador, qualquer sistema gerador de energia elétrica por fontes renováveis, com potência instalada inferior ou igual à 75kW. (Pela resolução 487, anterior, este limite era de até 100kW).
- Mini geração - Fica definido como mini gerador, o sistema gerador de energia elétrica por fontes renováveis, com potência instalada superior à 75kW e inferior à 3MW, para fontes hídricas, ou inferior a 5MW para outras fontes renováveis, como Solar, Eólica, Biomassa, dentre outras (Resolução anterior permitia potências entre 100kW e 1MW) (ANEEL, 2016).

A potência da micro ou mini geração distribuída também sofre mudanças com relação à resolução 482 da ANEEL, tendo agora como único parâmetro limitante a potência disponibilizada pela concessionária local à unidade consumidora. Para os consumidores do “grupo B”, que ficavam limitados pela carga instalada da unidade, agora podem estimar a potência máxima instalada do sistema gerador multiplicando-se o valor da capacidade de corrente do disjuntor geral pela tensão nominal, disponíveis no ramal de entrada (relógio medidor de consumo) (ANEEL, 2016). Para os consumidores do grupo A (alta tensão), não há valor mínimo a ser pago a título de energia, contudo os consumidores continuam sendo faturados normalmente pela demanda.

O caderno temático (ANEEL, 2016) demonstra através de exemplos, as modalidades para cada tipo de consumidor utilizar-se do sistema de compensação de energia elétrica, dos quais, destaca-se os mais utilizados.

Exemplo 1 - Consumidor Grupo B (baixa tensão)

Neste exemplo, considera-se a existência de uma unidade consumidora trifásica (custo de disponibilidade igual ao valor equivalente a 100kWh, em reais.), localizada na cidade de Belo Horizonte, que tem instalado sistema de micro geração fotovoltaica com potência de 2kW(pico), cujo consumo médio mensal seja de 418kWh. A tarifa considerada é de 0,51R\$/kWh, da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), desconsiderando impostos federais e estaduais.

Com base nos dados de irradiação solar para a localidade, o (ANEEL, 2016) estima a geração de energia (injetada), conforme apresentado na figura 21.

Conforme pode-se observar na figura 21 de (ANEEL, 2016), no mês de janeiro o consumo da unidade consumidora (330kWh) foi menor do que a energia ativa injetada

Mês	Consumo (kWh)	Injetado (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Fatura sem GD*	Fatura com GD*	Diferença
Jan	330	353	23	R\$ 168,30	R\$ 51,00	R\$ 117,30
Fev	360	360	23	R\$ 183,60	R\$ 51,00	R\$ 132,60
Mar	460	335	0	R\$ 234,60	R\$ 52,02	R\$ 182,58

$\text{Fatura março} = (\text{Consumo} - \text{Injetado} - \text{Crédito utilizado}) \times \text{Tarifa energia}$
 $\text{Fatura março} = (460 - 335 - 23) \times 0,51 = \text{R\$ } 52,02$

Fig. 21 – Consumo e geração no primeiro trimestre.

na rede (353kWh), em função disto, resulta-se um crédito (23kWh) a ser utilizado em faturamento posterior. No mês de janeiro, portanto, o faturamento será apenas pelo custo de disponibilidade citado anteriormente. Como o custo é calculado com base no valor de 100kWh, seu valor neste caso será de R\$ 51,00.

No mês de fevereiro, a energia injetada na rede foi igual ao consumo medido, desta forma o crédito do mês anterior segue sem ser aproveitado, e novamente é faturado apenas o custo de disponibilidade. Em março, o consumo (460kWh) foi maior do que a energia ativa injetada (335kWh), em função disto, o crédito de 23kWh proveniente do mês de janeiro, foi utilizado. Seguindo-se com o perfil de consumo e geração hipotético, o resumo anual é expresso pela figura 22.

Mês	Consumo (kWh)	Injetado (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Fatura sem GD*	Fatura com GD*	Diferença
Jan	330	353	23	R\$ 168,30	R\$ 51,00	R\$ 117,30
Fev	360	360	23	R\$ 183,60	R\$ 51,00	R\$ 132,60
Mar	460	335	0	R\$ 234,60	R\$ 52,02	R\$ 182,58
Abr	440	357	0	R\$ 224,40	R\$ 51,00	R\$ 173,40
Mai	450	333	0	R\$ 229,50	R\$ 59,67	R\$ 169,83
Jun	390	308	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Jul	350	360	10	R\$ 178,50	R\$ 51,00	R\$ 127,50
Ago	476	370	4	R\$ 242,76	R\$ 51,00	R\$ 193,80
Set	484	380	0	R\$ 246,84	R\$ 51,00	R\$ 183,60
Out	480	378	0	R\$ 244,80	R\$ 52,02	R\$ 192,78
Nov	430	338	0	R\$ 219,30	R\$ 51,00	R\$ 168,30
Dez	390	332	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Total	5.100	4.204	-	R\$ 2.560,20	R\$ 622,71	R\$ 1.937,49

$\text{Fatura agosto} = (476 - 370 - 6) \times 0,51 = \text{R\$ } 51,00$

Fig. 22 – Consumo e geração anual.

Em resumo, nos meses em que o consumo for igual ou inferior à energia injetada na rede, ou quando com maior consumo, porém com diferença menor ou igual aos 100kWh, o faturamento será realizado apenas pelo custo de disponibilidade (ANEEL, 2016). Ressalta-se ainda que, como a simulação desconsidera os impostos, a economia real anual pode ser inferior ao que apresenta-se na tabela da figura 22.

Exemplo 2 - Consumidor Grupo A (alta tensão)

Para este exemplo, (ANEEL, 2016) considera uma unidade consumidora comercial

na cidade de Fortaleza, com as características seguintes:

- Tensão - 13,8kV;
- Tarifa - Azul;
- Demanda na Ponta - 100kW;
- Demanda Fora da Ponta - 400kW;
- Potência Instalada de mini geração - 350kW (pico).

Para as unidades consumidoras que dispõe de tarifa horária, a energia injetada deve ser utilizada, prioritariamente, para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora de ponta). Caso haja sobra, esse saldo é utilizado para reduzir o consumo no outro posto tarifário, após aplicação de um fator de ajuste. Este procedimento é demonstrado através do gráfico da figura 23.

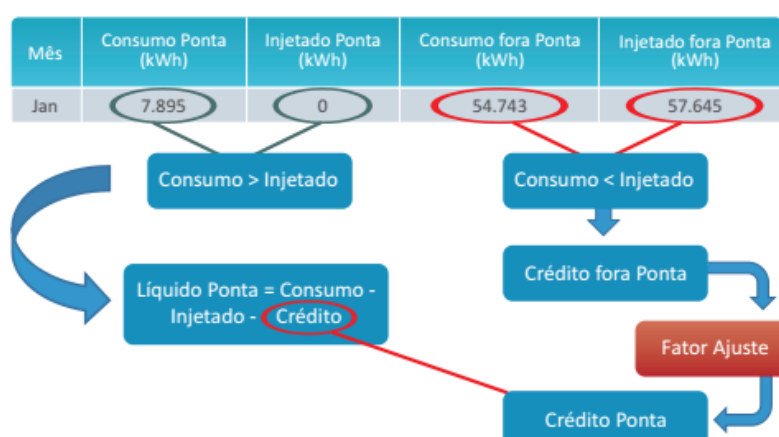


Fig. 23 – Consumo em Janeiro e mecanismo de reajuste.

Conforme demonstra a figura 23, houve um excedente de energia injetada na rede no período fora de ponta. Este saldo, para abater o consumo no período de ponta, deve ser submetido ao fator de ajuste. Este fator é o resultado da divisão de uma componente da tarifa, a componente TE (Tarifa de Energia) de ponta, pela TE fora de ponta (para o caso do excedente ser originado no período de ponta). Nominador e denominador são invertidos para calcular o fator de ajuste quando o excedente surgir no posto tarifário fora de ponta (ANEEL, 2016).

Ao aplicar o fator de ajuste calculado, na Figura 24, para o exemplo em questão, chegou-se a um crédito de 1.799kWh a ser utilizado na ponta, afim de abater o consumo daquele posto tarifário.

Fator Ajuste	Subgrupo	TE - Coelce			
		Ponta (P)	Fora de Ponta (FP)	Relação	
		R\$/MWh	R\$/MWh	FP/P	P/FP
	A4 (2,3 a 25 kV)	345,99	212,93	0,62	1,62

Crédito ponta = $(\text{Injetado fora ponta} - \text{Consumo fora ponta}) \times \text{Fator Ajuste} = (57.645 - 54.743) \times 0,62 = 1.799 \text{ kWh}$

Fig. 24 – Aplicação do fator de ajuste no mês de Janeiro.

Mês	Consumo Ponta (kWh)	Injetado Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Injetado Fora Ponta (kWh)	Líquido Ponta (kWh)	Líquido Fora Ponta (kWh)
Jan	7.895	0	54.743	57.645	6.096	0

Subgrupo	Energia (TE + TUSD)	
	Ponta	Fora de Ponta
	R\$/MWh	R\$/MWh
A4 (2,3 a 25 kV)	375,88	242,82

$(\text{Líquido ponta} \times \text{Tarifa ponta}) + (\text{Líquido fora ponta} \times \text{Tarifa fora ponta}) = (6.096 \times 0,37588) + (0 \times 0,24282) = \text{R\$ } 2.291,36$

Fig. 25 – Faturamento após aplicação do Fator de Ajuste.

Após a aplicação do fator de ajuste, a figura 25 expressa o faturamento final para o mês de janeiro.

Por fim, a figura 26 demonstra os dados líquidos de faturamento para Ponta e Fora de ponta no período de 12 meses.

Mês	Consumo Ponta (kWh)	Geração Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Geração Fora Ponta (kWh)	Líquido Ponta (kWh)	Líquido Fora Ponta (kWh)	Fatura Energia com GD	Economia
Jan	7.895	0	54.743	57.645	6.096	0	2.291	13.969
Fev	8.201	0	51.460	60.480	2.609	0	981	14.598
Mar	13.954	0	64.489	57.645	13.945	6.844	6.904	13.997
Abr	20.477	0	74.511	55.965	20.477	18.546	12.200	13.589
Mai	20.428	0	71.332	56.280	20.428	15.052	11.333	13.666
Jun	20.738	0	83.669	55.755	20.738	27.914	14.573	13.538
Jul	20.727	0	82.805	59.220	20.727	23.585	13.518	14.380
Ago	18.011	0	80.491	62.685	18.011	17.806	11.094	15.221
Set	19.267	0	71.678	62.895	19.267	8.783	9.375	15.272
Out	17.597	0	62.865	63.315	17.318	0	6.509	15.370
Nov	17.980	0	71.298	62.160	17.980	9.138	8.977	15.094
Dez	19.800	0	75.825	57.960	19.800	17.865	11.780	14.074

Fig. 26 – Dados líquidos em 12 meses de faturamento.

Segundo (ANEEL, 2016), a figura 26 acaba por demonstrar que haverá créditos de energia excedente em fora de ponta para os meses de Janeiro, Fevereiro e Outubro. Estes

serão utilizados portanto, para reduzir o consumo no horário de ponta, após aplicação do fator de ajuste.

2.4.2 Energia Fotovoltaica

O Efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por Heinrich Hertz. Em 1886, Hertz descobriu que quando um feixe de luz incidia sobre uma placa metálica, quando esta estivesse próxima a outra com potencial diferente, ocorria uma descarga elétrica entre elas, e ao diminuir a incidência luminosa, a descarga também diminuía.(FOWLER, 1997). A teoria era de que a energia provinda da luz, "arrancava"elétrons da camada a qual pertenciam, expelindo-os do material, estes então seriam atraídos pela placa próxima, que estava em potencial mais baixo. Este processo formaria a descarga.

Em 1905, Einstein sugeriu que em determinadas circunstâncias, a luz comportava-se como uma partícula, diferente do que se pensava até então, que seria como uma onda. A partir disto, determinou-se a natureza onda-partícula. Segundo Einstein, poderia-se pensar em luz como sendo um fluxo de partículas, denominadas "Fótons", onde cada um funcionaria como um pequeno pacote de energia (WALKER et al., 2002).

2.4.3 Rastreamento e captação da Energia

De acordo com (KUHN, 2013), a disponibilidade de radiação solar é dependente da latitude local e da posição no tempo, além das condições atmosféricas. Isto se dá devido ao movimento de rotação e translação de nosso planeta. Desta forma, para cada dia do ano tem-se um grau de intensidade de radiação diferente. Alguns períodos (estações do ano) de diferentes graus de irradiação são demonstrados através da figura 27, de (ANEEL, 2008).



Fig. 27 – Estações do ano em função do movimento da terra em torno do sol.

A duração da radiação solar no período de um dia, varia de acordo com a região e o período do ano, indo de 0 (zero) a 24 (vinte e quatro) horas. As variações de maior intensidade ocorrem nos pólos e períodos de solstício. O (INFORME, 2008) demonstra através da figura 28 , uma média anual de insolação diária, no Brasil.

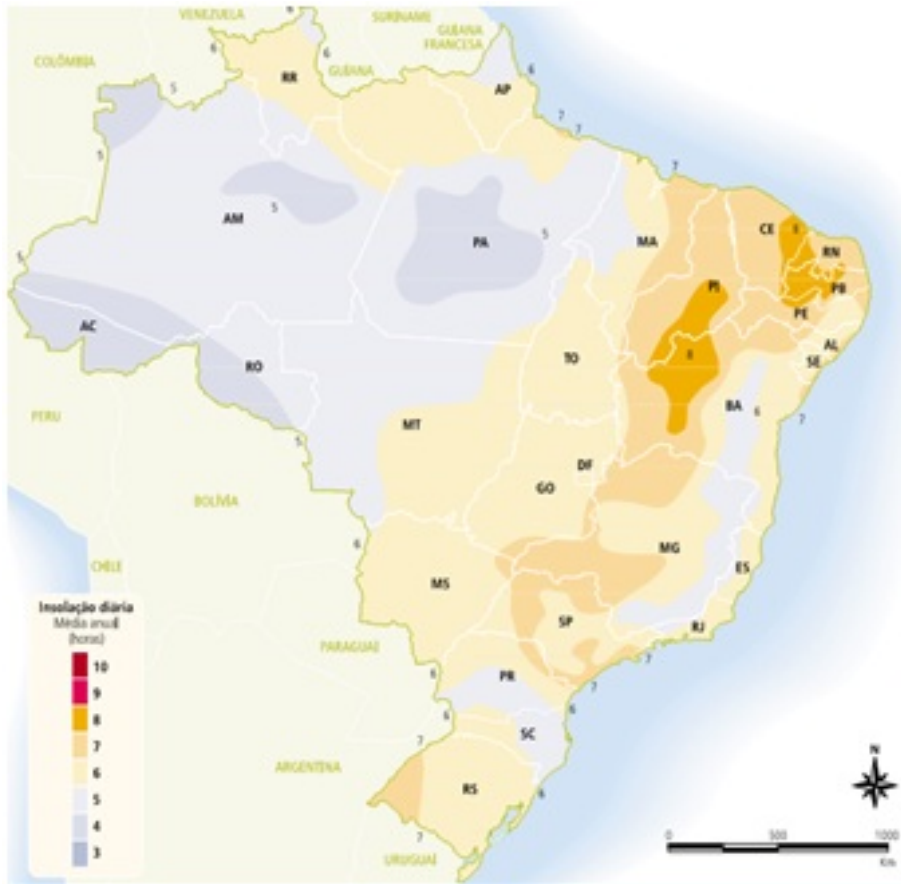


Fig. 28 – Média anual de insolação, em horas diárias, segundo CRESESB 2000.

O Brasil, pelo fato de localizar-se próximo a linha do Equador, conta com pouca variação da duração solar diária na maioria de sua extensão territorial. Porém, a maior parte da produção econômica brasileira, bem como população, localizam-se distantes da Linha do Equador, mais especificamente próximas ao eixo do Trópico de Capricórnio.

De acordo com (INFORME, 2008), para estes locais, aconselha-se regular a posição do coletor solar conforme a latitude local. No hemisfério sul recomenda-se fixar o sistema de geração com orientação para o norte e ângulo de inclinação similar ao utilizado para latitude normal.

A terra entretanto apresenta diferença de inclinação durante o ano, esta mudança é definida através de uma linha entre o centro terrestre e o sol. Esta linha forma um ângulo com a linha do Plano Equatorial, a este ângulo dá-se o nome "Ângulo de Declinação". O mesmo é representado por (KUHN, 2013) através da figura 29.

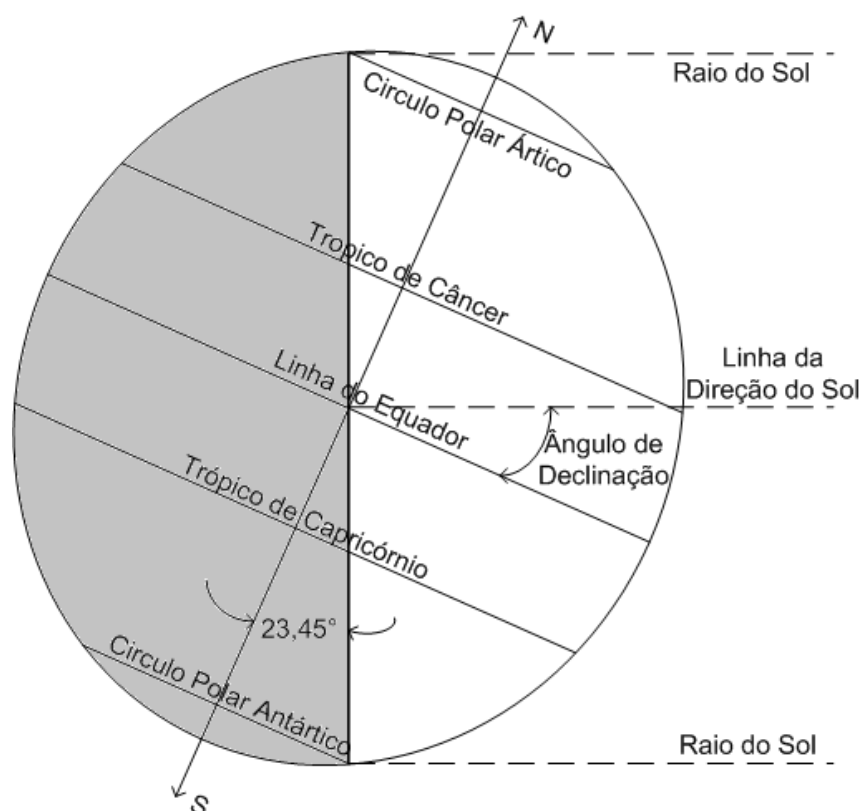


Fig. 29 – Definição do Ângulo de Declinação.

Segundo (KUHN, 2013), é de acordo com a declinação solar que pode-se determinar o número de horas com incidência solar durante o período de um dia. Os dias mais longos ocorrem próximo ao Solstício de Verão, em meados de Dezembro. Porém, há também o Solstício de inverno, que ocorre em meados de Junho, quando ocorre o dia com menos horas de sol. Para estes diferentes períodos, têm-se ângulos distintos de inclinação buscando o melhor aproveitamento solar.

A figura 30, de (KUHN, 2013), exibe um gráfico para representar a declinação solar ao longo do ano.

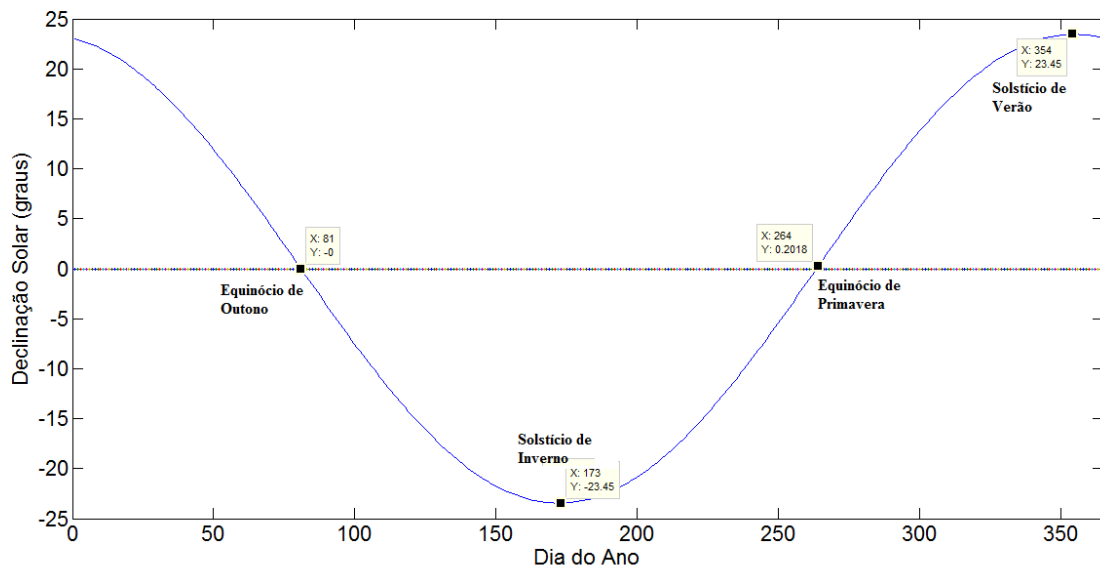


Fig. 30 – Declinação solar.

Ainda conforme (KUHN, 2013), os painéis de captação da energia solar podem operar como Rastreador Fixo, Rastreador Solar com variação no Eixo Polar e Rastreador Solar em dois eixos. Cada um destes sistemas é indicado conforme a localização da estação geradora. Na região da linha do Equador, por exemplo, a cidade de Macapá-AP, o eixo solar tem por característica repetir-se durante o ano inteiro, necessitando portanto de rastreamento em apenas um eixo, de sentido leste-oeste. Entretanto, para municípios como Alegrete-RS, localizados em maior latitude, justifica-se o uso do rastreamento em dois eixos. Neste caso, um varia ao longo do dia, e o outro conforme a mudança do eixo solar ao decorrer do ano. A diferença no eixo solar anual torna-se visível ao comparar-se as cartas solares cartesianas para os dois municípios supracitados, as quais são expressas nas figuras 31 e 32, ambas expressas por (KUHN, 2013).

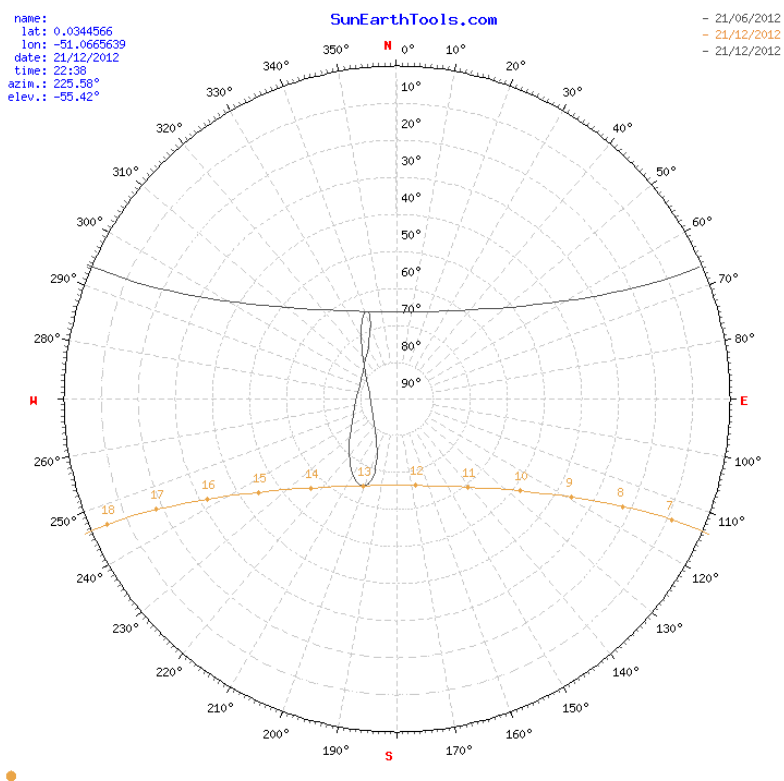


Fig. 31 – Carta solar cartesiana para Macapá-AP .

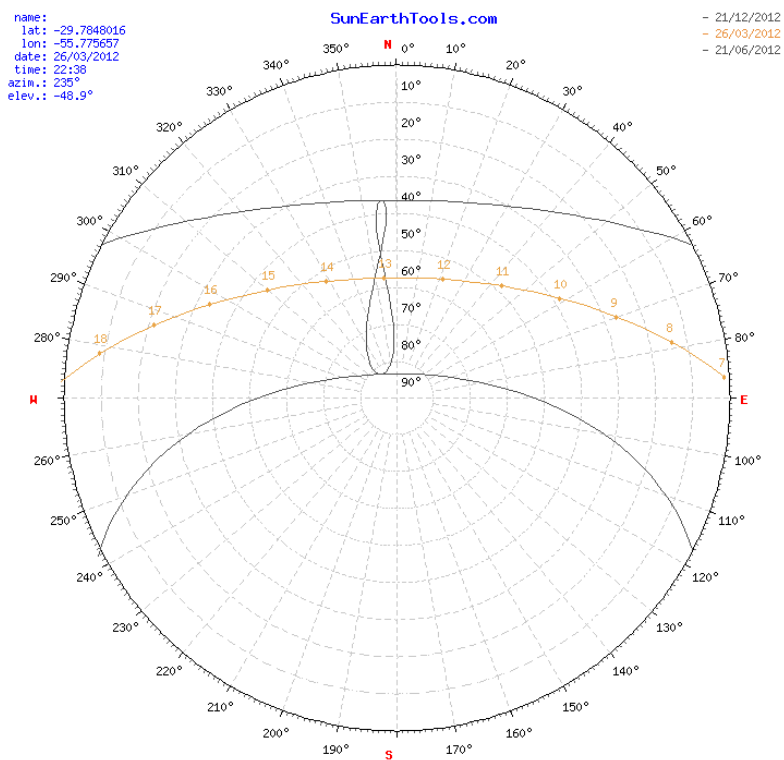


Fig. 32 – Carta solar cartesiana para Alegrete-RS

A geração das cartas solares para cada lugar analisado, bem como os cálculos necessários para determinar o potencial energético solar em cada localização tem complexidade considerável. Para tanto, costuma-se utilizar-se de softwares especializados neste tipo de simulação, como por exemplo a ferramenta online *SunEarthTools*.

O *SunEarthTools* é uma aplicação online que permite gerar-se as cartas solares (cartesiana e polar) para quaisquer localidades, através de suas coordenadas geográficas. A ferramenta também possibilita a análise de viabilidade econômica para implementação da mini geração, considerando dados sobre a necessidade energética, custos de implementação, potencial solar, entre outros dados. Ao relacionar todos os dados, o programa retorna um tempo de retorno estimado para o investimento. As figuras 33 e 34 demonstram a utilização do SunEarth.

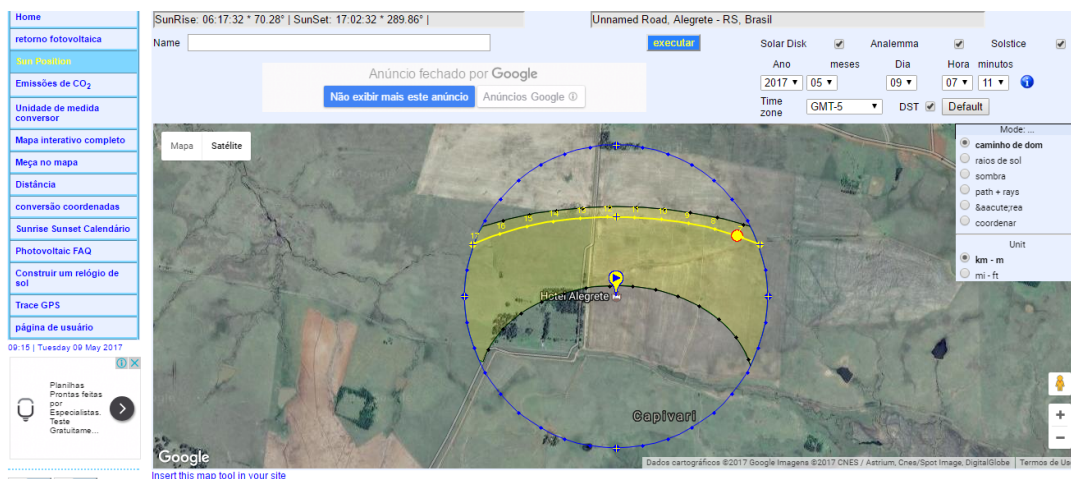


Fig. 33 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar as cartas solares.

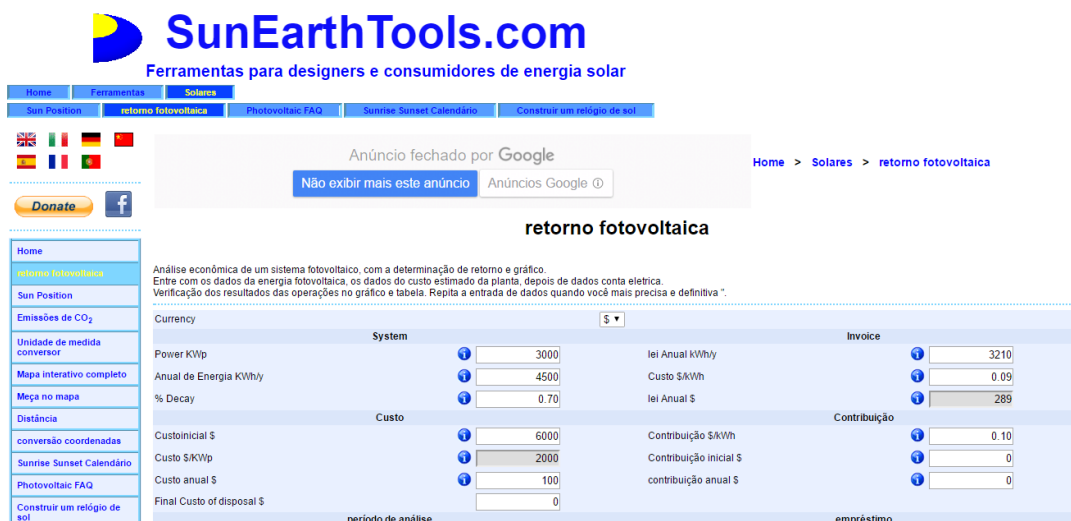


Fig. 34 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar a viabilidade econômica do sistema.

Apesar da possibilidade de cálculo da viabilidade econômica através do software, optou-se por realizar o mesmo em planilha interna fornecida pelo professor orientador, a qual segue os parâmetros definidos por (ANEEL, 2013), o que será realizado ao final do trabalho.

2.4.4 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é o dispositivo elétrico utilizado para converter a luminosidade de origem solar diretamente em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Os módulos solares utilizados na captação da energia solar representam um aglomerado destas células (JOÃO, 2016).

Para aproveitar esta energia incidente, precisa-se de um campo elétrico. Para isto, usufrui-se de uma propriedade característica dos materiais semicondutores, chamada Camada de Depleção. Tal efeito acontece ao unir-se dois cristais semicondutores, geralmente Silício, cada um dopado inversamente, ou seja, um positivamente e outro negativamente. A dopagem é feita adicionando-se, mais comumente, Boro em um dos lados, e composto de Fósforo no outro, formando então a junção PN. Nesta configuração, elétrons livres do lado N passam para as lacunas criadas no lado P, isso acarreta um acúmulo de elétrons do lado P e redução de elétrons no lado N. Este processo gera um campo elétrico, o qual dificulta a passagem de mais elétrons para o lado P, fazendo com que o processo alcance um equilíbrio e estabeleça-se uma espécie de barreira ao deslocamento de novos elétrons. Quando a junção PN é exposta a fótons com energia maior que esta barreira, surgem novos pares de elétron/cavidade, que na presença do campo elétrico, as cargas são aceleradas, proporcionando a passagem de corrente elétrica através da junção. Este efeito proporciona uma diferença de potencial e é chamado de efeito fotovoltaico (JOÃO, 2016). A figura 35 expressa o efeito fotovoltaico, em uma junção PN (JOÃO, 2016).

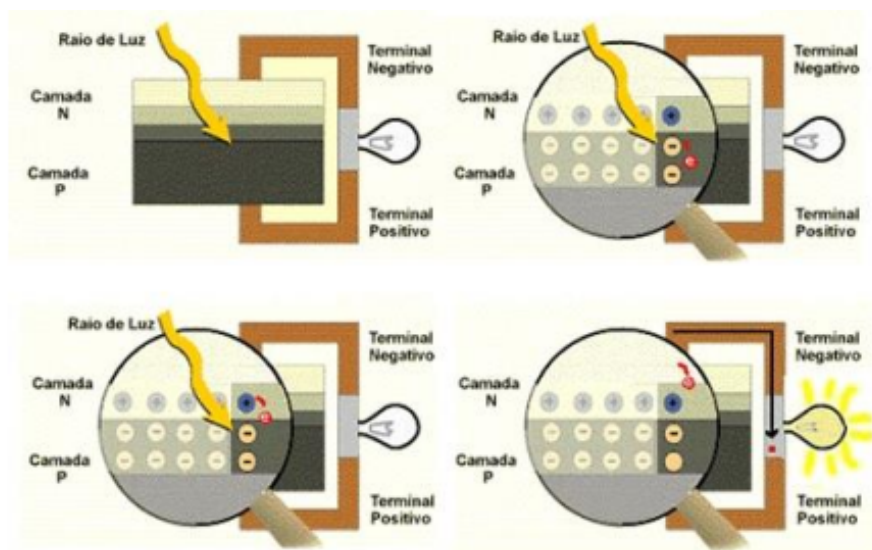


Fig. 35 – Efeito fotovoltaico na camada PN.

De acordo com (KUHN, 2013) uma célula produz em média 1,5W , correspondentes à tensão de 0,5 Volts e 3 Ampères. Para obter-se potências maiores, faz-se o uso da associação série ou paralelo das células. Esta associação forma um módulo fotovoltaico, com potência comumente entre 50 e 100W, estes por sua vez podem formar um painel fotovoltaico, com potencias acima dos 100W.

A eficiência de uma célula solar fotovoltaica é medida pelo quanto da radiação solar incidente sobre a mesma, é de fato convertida em energia elétrica. Ainda segundo (KUHN, 2013), as células solares fotovoltaicas apresentam eficiência em torno dos 25%.

Os índices de eficiência para os tipos de célula mais utilizados são expressos por (KUHN, 2013) através da tabela 3.

Tabela 3 – Eficiência por tipo de Célula Fotovoltaica.

Tipo de Célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de Cristal Simples	30	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício Concentrado	27	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício Policristalino	25	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício Amorfo	17,0	13	4 a 7	-

Conforme expresso anteriormente, um painel fotovoltaico pode ser formado por várias células em série, de modo que a tensão seja somada até atingir-se o índice de tensão e conseqüentemente potência desejadas para cada painel. A colocação destas células em série e o resultante aumento da tensão, são demonstrados pela figura 36 (KUHN, 2013).

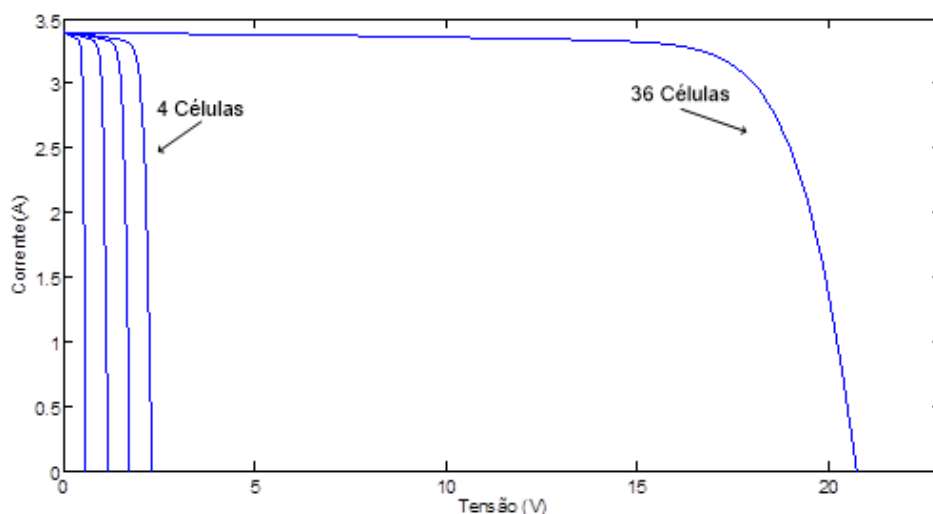


Fig. 36 – Células em série para elevar a tensão mantendo a corrente do sistema.

2.4.4.1 Material de Constituição das Células

Os vários tipos de materiais utilizados nas células que formam um painel fotovoltaicos serão expostos a seguir, conforme descrito por (FILHO, 2015):

- Silício mono cristalino: Historicamente a mais usada e comercializada para converter diretamente a energia solar em elétrica. A tecnologia para sua fabricação consiste num processo básico e bem constituído. Dentre as células que utilizam o silício como base, as monocristalinas apresentam os maiores índices de eficiência. Comercialmente, as células atingem eficiência de 15%, índice que pode chegar a 18% para construções em laboratório.

A célula de silício mono cristalino é representada pela figura 37 de (BRAGA, 2008).

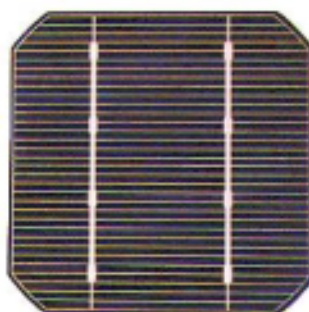


Fig. 37 – Célula de Silício mono cristalino.

- Silício poli cristalino: Também conhecido como silício multi cristalino, as células formadas por este material são mais baratas, pois exigem um processo de preparação menos exigente. No entanto, isso reflete-se na eficiência, que é um pouco inferior à célula monocristalina.

A célula de silício poli cristalino é representada através da figura 38, de (BRAGA, 2008).

- Silício Amorfo: Uma célula deste material difere-se das demais por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Porém, apresenta vantagens nas propriedades elétricas e no processo de fabricação. Esta célula apresenta uma absorção de radiação solar na faixa da luz visível, e pode ser fabricada mediante a deposição de diversos substratos. Por esses fatores, o silício amorfo é uma alternativa para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Esta forma de célula apresenta porém uma menor eficiência energética, e ainda a diminuição da eficiência ao longo de sua vida útil, sendo esta uma forte desvantagem.

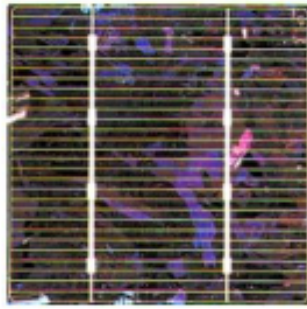


Fig. 38 – Célula de Silício poli cristalino.

A célula de Silício amorfo é representada pela figura 39, de (BRAGA, 2008).



Fig. 39 – Célula de Silício Amorfo.

2.4.5 Sistema Fotovoltaico

Como a geração de energia fotovoltaica é dada de forma direta, o sistema é relativamente simples, como demonstrado pela figura 40.

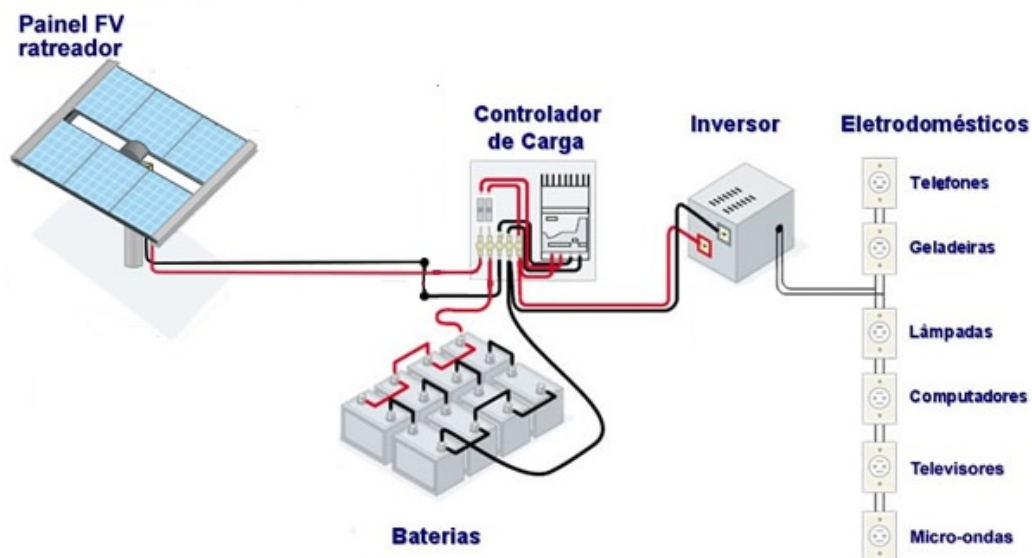


Fig. 40 – Sistema de Geração Fotovoltaica.

De acordo com (KUHN, 2013), um sistema fotovoltaico é constituído basicamente das partes a seguir:

- Painel Solar - Responsável pela conversão da radiação solar em energia elétrica;
- Controlador de Carga - Controla a geração, respeitando os limites especificados pelo banco de baterias (limitando valores de tensão e ou corrente)
- Banco de Baterias - Baterias ligadas em arranjos série e/ou paralelo, utilizadas para armazenar a energia gerada que seja excedente ao consumo, ou ainda para os períodos de escassez na geração;
- Inversor - A energia é gerada em Corrente Contínua, porém para sua utilização é preciso realizar a conversão para forma senoidal, com tensão (127 ou 220 Volts) e frequência (50 ou 60Hz) definidas. Esta é basicamente a função do inversor.

De acordo com (BRAGA, 2008), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três configurações principais:

- Sistemas isolados;
- Sistemas híbridos;
- Sistemas interligados à rede.
- Sistemas isolados: Também conhecidos como sistemas autônomos, são sistemas fotovoltaicos que não se encontram conectados à rede elétrica. São sistemas que alimentam diretamente as cargas que irão consumir a energia produzida. Sua maior aplicabilidade está em locais remotos. Ao se dimensionar um sistema isolado, deve ser levado em consideração o cálculo de consumo da carga e utilizar como base os piores índices de radiação solar para a área onde irá ser implantado. Esse tipo de sistema pode ou não utilizar algum tipo de armazenamento de energia e não apresentam fontes de energia complementares à geração de energia advinda do Sol, sendo denominados de puramente fotovoltaicos.

Alguns exemplos de aplicações de sistemas isolados são (FILHO, 2015):

- Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água;
- Eletrificação de cercas;
- Postes de iluminação solar;
- Estações replicadoras de sinal;

- Casas isoladas da rede elétrica.
- Sistemas Híbridos: Consistem da combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia, com o intuito de assegurar o nível de carga nas baterias quando da ausência de energia solar. As fontes de energia auxiliares são a geração eólica, diesel, gás, dentre outros. Os sistemas híbridos é geralmente aplicado para gerações de médio a grande porte, onde atinge um número maior de consumidores. Como é uma configuração onde existem várias possibilidades de arranjos energéticos e escolhas, cada sistema deve ser estudo de forma particular para melhor otimização do conjunto.
- Sistemas interligados à rede: Esses sistemas representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. No caso do Brasil, conetados ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Devido à geração total ser injetada diretamente na rede, estes sistemas não possuem bancos de baterias para armazenamento. O arranjo de painéis é portanto conectado aos inversores, os quais injetam a energia diretamente na rede. Por estarem diretamente conectados à rede, estes inversores necessitam satisfazer severas exigências de qualidade e segurança, de forma a proteger a rede elétrica de interferências dos mesmos. Isto é feito através da correção de distorções harmônicas, proteção contra sobretensões e sobre correntes, buscando uma saída com onda senoidal mais pura possível.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Identificação e Dados Gerais

A Universidade federal do Pampa - Campus Alegrete, localiza-se na Av. Tiarajú, 810, bairro Ibirapuitã, CEP 97546-550, no município de Alegrete, região central do Rio Grande do Sul. Atualmente, o campus oferece sete opções de cursos em nível superior:

- Ciência da Computação
- Engenharia Agrícola
- Engenharia Civil
- Engenharia Elétrica
- Engenharia Mecânica
- Engenharia de Software
- Engenharia de Telecomunicações



Fig. 41 – Vista Aérea da Unipampa - Campus Alegrete.

Além da graduação, são também ofertados cursos em grau de Especialização e Mestrado Acadêmico. Tecnologia no Ensino de Matemática e em Engenharia Econômica são as opções de especialização. Os mestrados correspondem às áreas de Engenharia e Engenharia Elétrica. A vista aérea do campus, obtida com auxílio da ferramenta *Google Earth*, é demonstrada na figura 41.

3.1.1 Dados instalações atuais

Para estimar-se qualquer potencial existente para melhorias tecnológicas nas instalações, faz-se necessário primeiramente realizar um levantamento de dados atuais, abrangendo desde os equipamentos instalados até os dados de faturamento da energia elétrica pela concessionária. Partindo desta premissa, relaciona-se a seguir as principais características cujo levantamento é relevante:

- Especificações do fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária, como: concessionária responsável, código do cliente, Modalidade tarifaria, Classe de Fornecimento, entre outros;
- Dados de Consumo e Demanda, presentes nas Faturas Físicas de Energia Elétrica (Preferencialmente sobre os últimos 12 meses ou período maior);
- Valores monetários mensais referentes ao faturado no mesmo período;
- Valor da carga instalada no campus atualmente;
- Especificação da carga, determinando o quanto desta é referente ao sistema de iluminação atual;

Recentemente, houve a elaboração de um relatório técnico no Campus Alegrete, concebido pelo Prof. Dr. Eng. José Wagner M. Kaehler juntamente com alunos de iniciação científica. Este relatório compõe uma série de trabalhos elaborados, que visam promover a eficiência energética em todos os campi da Unipampa. Este em específico, propunha o retrofit no sistema de iluminação juntamente com a atualização tecnológica dos equipamentos de climatização do campus de Alegrete, seguido de um estudo sobre a implementação de uma mini geração fotovoltaica na instituição. Em função disto, toma-se por base o levantamento geral do sistema de iluminação atual do campus, realizado nesse relatório técnico já existente. Além da carga instalada, serão utilizados os dados de faturamento de energia expostos pelo mesmo, bem como outros dados de campo, úteis para a realização do presente trabalho.

O campus Alegrete é atendido pela RGE-Sul sob Código do Cliente No. 5565400-2.A modalidade Tarifária é Horosazonal, VERDE, A4, com alimentação em 13,8 kV, das Demais Classes do Poder Público.

A seguir são expostos os dados de faturamento de energia elétrica no período de Outubro de 2015 a Dezembro de 2016. Os dados são divididos entre as tabelas 4, 5 e 6, sendo Faturas Físicas, faturas monetárias (parte 1) e faturas monetárias (parte 2), respectivamente.

Tabela 4 – Faturas Físicas de Energia Campus Alegrete

Ano	Mês	Dem. Contrat.		Dem. Lida [kW]		Dem. Faturada		Cons. Ponta [kWh]		Cons. F. Ponta [kWh]		F. de Carga [FC]		Cons. Total			
		F. Ponta	Ponta Lida	F. Ponta	Ponta Lida	Verde	Amar.	Verde	Amar.	Verde	Amar.	TOTAL	Ponta		F. Ponta		
2015	Out	200	160	177				5.797	5.797	43.249	43.249	54,90%	37,36%	49.046			
	Nov	200	173	275				6.233	6.233	52.590	52.590	51,18%	27,41%	58.823			
	Dez	200	195	260				5.934	5.934	52.886	52.886	47,70%	32,17%	58.820			
	Jan	200	149	210				4.153	4.153	54.438	54.438	38,39%	36,03%	58.591			
	Fev	200	149	216				4.281	4.281	53.026	53.026	43,53%	37,54%	57.307			
	Mar	200	199	297			6.266	802	7.068	44.195	7.683	51.878	55,67%	27,63%	58.946		
	Abr	200	171	253			6.060	1.763	7.823	47.219	11.525	58.744	63,01%	32,28%	66.567		
2016	Mai	200	121	124			5.181		5.181	39.816	39.816	69,51%	52,60%	44.997			
	Jun	200	119	125			5.625		5.625	42.314	42.314	71,62%	51,76%	47.939			
	Jul	200	94	104			4.882		4.882	41.658	41.658	69,43%	54,04%	46.540			
	Ago	200	89	101			4.384		4.384	34.563	34.563	77,21%	54,13%	38.947			
	Set	200	97	106			4.586		4.586	37.542	37.542	67,16%	50,77%	42.128			
	Out	200	91	115			4.738		4.738	37.974	37.974	78,89%	50,49%	42.712			
	Nov	200	140	216			768	3.907	4.675	6.216	34.098	40.314	50,60%	28,54%	44.989		
Dez	200	139	199			3.650	1.063	4.713	38.377	9.369	47.746	48,17%	34,39%	52.459			
TOTAL		199	199	297			39.874	12.999	27.200	80.073	325.679	99.187	263.872	688.738	59,131%	40,476%	768.811

Tabela 5 – Faturas de Energia Campus Alegrete (Monetária) - Parte 1

ANO	MÊS	CONSUMO ENERGIA PONTA (R\$)				CONSUMO ENERGIA FORA DE PONTA (R\$)			DEMANDA
		VERDE	AMARELA	VERMELHA	VERDE	AMARELA	VERMELHA	FATURADA ULTRAPASSAGEM	
	Outubro			R\$ 6.444,68			R\$ 17.210,59	R\$ 2.999,39	
2015	Novembro			R\$ 7.118,68			R\$ 21.499,42	R\$ 4.236,82	-R\$ 2.310,99
	Dezembro			R\$ 6.640,84			R\$ 21.185,39	R\$ 3.925,13	-R\$ 1.811,59
	Janeiro			R\$ 4.738,84			R\$ 22.234,82	R\$ 3.232,48	
	Fevereiro			R\$ 4.780,32			R\$ 20.751,61	R\$ 3.291,55	-R\$ 487,63
	Março	R\$ 6.999,52	R\$ 909,16	R\$ 16.732,05	R\$ 4.339,92		R\$ 3.035,92	R\$ 4.608,12	-R\$ 3.010,01
	Abril	R\$ 6.614,61	R\$ 1.958,81	R\$ 16.969,98	R\$ 4.339,92		R\$ 3.913,80	R\$ 3.913,80	-R\$ 1.639,77
2016	Maior	R\$ 5.707,54		R\$ 14.469,61			R\$ 3.166,21	R\$ 3.166,21	
	Junho	R\$ 6.144,05		R\$ 15.246,79			R\$ 3.139,33	R\$ 3.139,33	
	Julho	R\$ 5.369,37		R\$ 15.114,31			R\$ 3.161,04	R\$ 3.161,04	
	Agosto	R\$ 4.831,65		R\$ 12.566,06			R\$ 3.167,59	R\$ 3.167,59	
	Setembro	R\$ 5.010,66		R\$ 13.531,37			R\$ 3.140,26	R\$ 3.140,26	
	Outubro	R\$ 5.254,45		R\$ 13.892,52			R\$ 3.187,40	R\$ 3.187,40	
	Novembro	R\$ 840,37	R\$ 4.340,11	R\$ 2.243,82	R\$ 12.874,92		R\$ 3.396,58	R\$ 3.396,58	-R\$ 503,19
	Dezembro	R\$ 3.900,41	R\$ 1.153,17	R\$ 13.528,54	R\$ 3.454,71		R\$ 3.071,30	R\$ 3.071,30	
	TOTAL	R\$ 43.673,11	R\$ 14.451,61	R\$ 30.632,52	R\$ 117.563,00	R\$ 37.401,60	R\$ 105.917,75	R\$ 51.637,00	-R\$ 9.763,18

Tabela 6 – Faturas de Energia Campus Alegrete (Monetária) - Parte 2

ICMS	MULTA	QUAL. SERVIÇO PIS E COFINS	ILUM. PÚBLICA	TOTAL
R\$ 8.885,91		-R\$ 2.079,30	R\$ 1.419,31	R\$ 34.880,58
R\$ 11.723,60		-R\$ 2.743,32	R\$ 1.717,08	R\$ 41.241,29
R\$ 11.187,65		-R\$ 2.617,91	R\$ 1.669,57	R\$ 40.179,08
R\$ 12.248,08	-R\$ 241,45	-R\$ 2.469,44	R\$ 1.618,42	R\$ 41.361,75
R\$ 12.561,90		-R\$ 2.449,57	R\$ 1.531,91	R\$ 39.980,09
R\$ 15.126,33	R\$ 1.028,14	-R\$ 3.009,78	R\$ 1.660,59	R\$ 44.080,04
R\$ 15.187,23	R\$ 1.264,45	-R\$ 3.035,48	R\$ 1.793,00	R\$ 47.366,55
R\$ 10.004,29	R\$ 1.460,69	-R\$ 2.036,28	R\$ 1.210,62	R\$ 33.982,68
R\$ 10.512,93		-R\$ 2.094,01	R\$ 1.283,45	R\$ 34.232,54
R\$ 10.133,45		-R\$ 1.976,02	R\$ 1.229,02	R\$ 33.031,17
R\$ 8.813,00		-R\$ 1.718,67	R\$ 1.043,86	R\$ 28.703,49
R\$ 9.292,41		-R\$ 1.812,02	R\$ 1.112,52	R\$ 30.275,20
R\$ 9.571,87		-R\$ 1.866,51	R\$ 1.148,81	R\$ 31.188,54
R\$ 10.370,99		-R\$ 2.022,34	R\$ 1.217,95	R\$ 32.759,21
R\$ 10.760,62		-R\$ 2.098,32	R\$ 1.322,21	R\$ 35.092,64
R\$ 166.380,26	R\$ 3.753,28	-R\$ 34.028,97	R\$ 20.978,32	R\$ 548.354,85

Ainda segundo (KAEHLER, 2017), o contrato de demanda do campus perante a concessionária encontra-se ajustado aos requisitos do campus, porém ocorrem determinadas ultrapassagens dos níveis previstos em contrato, conforme é visto na tabela 4, e exemplificado pelo gráfico da figura 42.

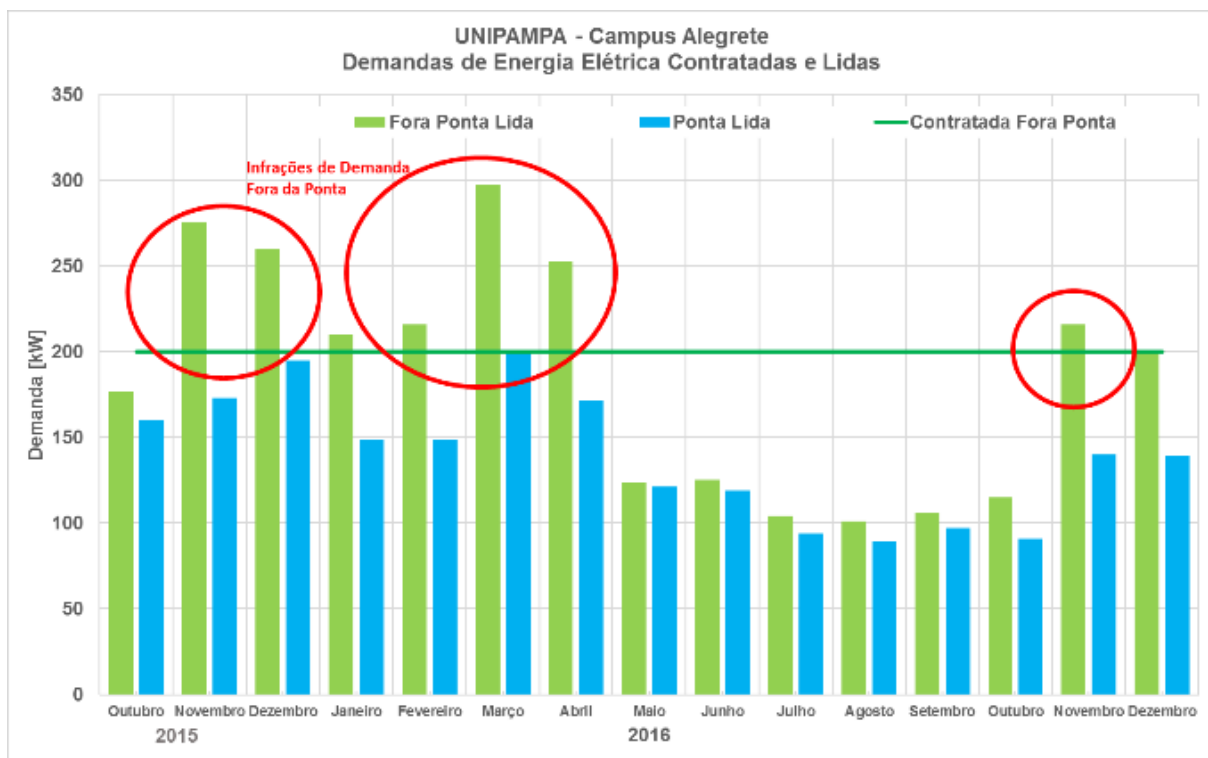


Fig. 42 – Ultrapassagens no contrato de demanda [kW].

O consumo mensal é predominante no horário Fora de Ponta, ou seja, a modalidade tarifária VERDE é justificada. O histórico do consumo é evidenciado pelo gráfico da figura

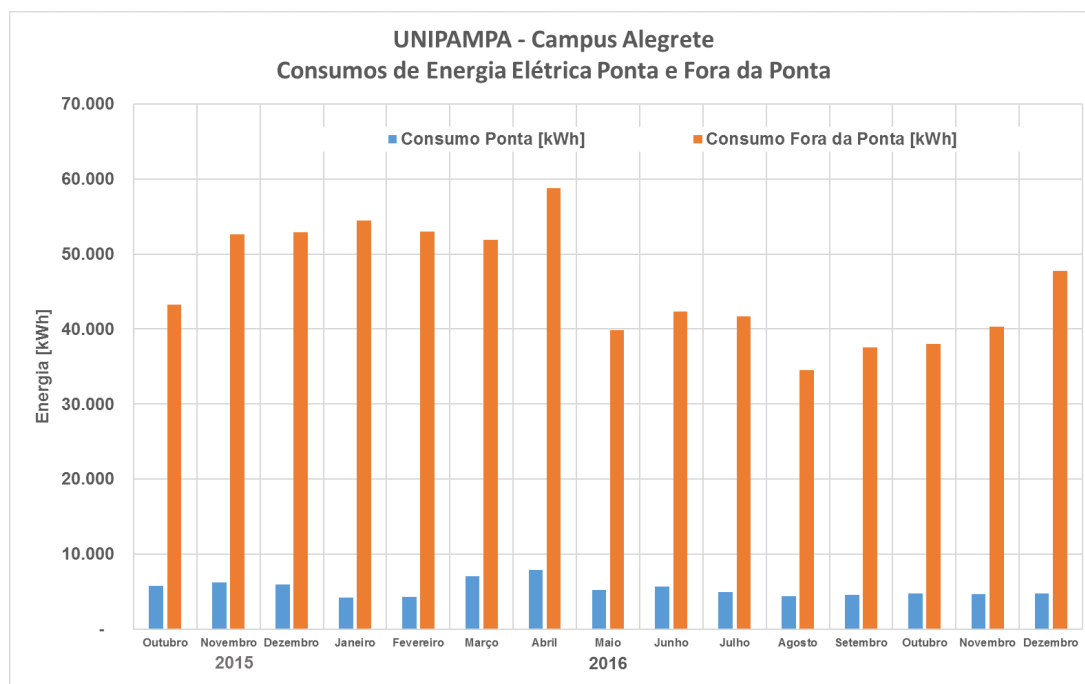


Fig. 43 – Consumo de Energia Elétrica [kWh].

Analisando os dados expressos na tabela 6, evidencia-se também os valores decorrentes de atraso no pagamento, passíveis de redução.

3.2 Carga Instalada e(ou) prevista (Iluminação)

A iluminação interna é predominantemente constituída por Luminárias de Fluorescentes tubulares tipo T8, com 2 lâmpadas de 32W cada. Os dados, provenientes do (KAEHLER, 2017), referente à iluminação existente no Campus, estão expressos em quadros, através das figuras 44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55. As cargas expressas nas figuras supracitadas não consideram, porém, a potência consumida pelos reatores das luminárias, de maneira que, quando realizada a comparação entre os sistemas atual e proposto, para cada luminária do sistema atual será considerada uma carga adicional de 6 Watts.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual					
			1 x 32 W		2 x 32 W		TOTAL W	
			Número	Potência	Número	Potência		
Prédio Acadêmico 1	Térreo	1			12	816	816	
		2			15	1.020	1.020	
		3			9	612	612	
		4	Laboratório de Física			4	272	272
		5	NTI			4	272	272
		6	Circulação: Corredor / Escada	8	272		-	272
		7	WC			5	340	340
	1o. Pavimento	1	NTIC			12	816	816
		2	Laboratório de Eletrotécnica			27	1.836	1.836
		3	Sala 210			16	1.088	1.088
		4	Sala 212			16	1.088	1.088
		5	Circulação: Corredor / Escada	8	272		-	272
		6	WC			5	340	340
	2o. Pavimento	1	Sala 310			16	1.088	1.088
		2	Sala 312			16	1.088	1.088
		3	Sala 309			9	612	612
		4	Sala 311			9	612	612
		5	Sala 313 Vídeo Conferência			6	408	408
		6	Sala 315			12	816	816
		7	Circulação: Corredor / Escada	8	272		-	272
		8	WC			5	340	340
	TOTAL			24	816	198	13.464	14.280

Fig. 44 – Iluminação Prédio Acadêmico 1.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual			
			2 x 32 W		TOTAL W	
			Número	Potência		
Prédio Acadêmico 2	Térreo	1	Sala 101	19	1292	1.292
		2	Sala 102	17	1156	1.156
		3	Sala 103	12	816	816
		4	Laboratório Eng. Civil	16	1088	1.088
		5	Diretório Acadêmico	4	272	272
		6	Sala 104 - Estudos Alunos	17	1156	1.156
		7	Circulação: Corredor / Escada	8	544	544
		8	WC	5	340	340
	1o. Pavimento	1	Sala 201	23	1564	1.564
		2	Sala 202	17	1156	1.156
		3	Sala 203	14	952	952
		4	Sala 204	16	1088	1.088
		5	Sala 205	20	1360	1.360
		6	Circulação: Corredor / Escada	11	748	748
		7	WC	5	340	340
	2o. Pavimento	1	Sala 301	23	1564	1.564
		2	Sala 302	17	1156	1.156
		3	Sala 303	14	952	952
		4	Sala 304	16	1088	1.088
		5	Sala 305	20	1360	1.360
		7	Circulação: Corredor / Escada	11	748	748
		8	WC	5	340	340
	TOTAL			310	21.080	21.080

Fig. 45 – Iluminação Prédio Acadêmico 2.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W	
			26W LFC		2 x 32 W			
			Número	Potência	Número	Potência		
Casa do Estudante	Térreo	1	Apartamento 1	7	182		-	182
		2	Apartamento 2	7	182		-	182
		3	Apartamento 3	7	182		-	182
		4	Apartamento 4	7	182		-	182
		5	Apartamento 5	7	182		-	182
		6	Apartamento 6	7	182		-	182
		7	Apartamento 7	7	182		-	182
		8	Apartamento 8	7	182		-	182
		9	Apartamento 9	7	182		-	182
		10	Apartamento 10	7	182		-	182
		11	Área de Convivência	2	52	10	680	732
		12	Circulação: Corredor / Escada		-	9	612	612
		13	WC Comum	2	52		-	52
	1o. Pavimento	1	Apartamento 1	7	182		-	182
		2	Apartamento 2	7	182		-	182
		3	Apartamento 3	7	182		-	182
		4	Apartamento 4	7	182		-	182
		5	Apartamento 5	7	182		-	182
		6	Apartamento 6	7	182		-	182
		7	Apartamento 7	7	182		-	182
		8	Apartamento 8	7	182		-	182
		9	Apartamento 9	7	182		-	182
		10	Apartamento 10	7	182		-	182
		11	Dormitórios	12	312		-	312
		12	Circulação: Corredor / Escada		-	13	884	884
		13	WC Comum	8	208		-	208
TOTAL				164	4.264	32	2.176	6.440

Fig. 46 – Iluminação Prédio Casa Estudantes.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W			
			2 x 32 W		VS 150 + Reator					
			Número	Potência	Número	Potência				
PampaTec	Bloco 1 Direito	1	Sala 1-1	7	476		-	476		
		2	Sala 1-2	6	408		-	408		
		3	Sala 1-3	9	612		-	612		
		4	Sala 1-4	6	408		-	408		
		5	Sala 1-5	9	612		-	612		
		6	Sala 1-6	8	544		-	544		
		7	Sala 1-7	9	612		-	612		
		8	ulação: Corredor / Esc	10	680		-	680		
		9	WC	2	136		-	136		
	Bloco 2 Centro	1	Sala 2-1	9	612		-	612		
		2	Sala 2-2 Direção	9	612		-	612		
		3	Sala 2-3	9	612		-	612		
		4	Sala 2-4 Reuniões	9	612		-	612		
		5	Sala 2-5	5	340		-	340		
		6	Sala 2-6	1	68		-	68		
		7	Sala 2-7	2	136		-	136		
		8	Sala 2-8 - Entrada	9	612	16	2.816	3.428		
		9	WC	2	136		-	136		
	Bloco 3 Esquerdo	1	Sala 3-1	18	1.224		-	1.224		
		2	Sala 3-2	12	816		-	816		
		3	Sala 3-3	9	612		-	612		
		4	Sala 3-4	9	612		-	612		
		5	Sala 3-5 Entrada	4	272		-	272		
		8	ulação: Corredor / Esc	11	748		-	748		
		9	WC	2	136		-	136		
		TOTAL				186	12.648	16	2.816	15.464

Fig. 47 – Iluminação PAMPATEC.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W	
			2 x 32 W		VM 100 + Reator			
			Número	Potência	Número	Potência		
Prédio Administrativo	Térreo	1	Biblioteca	21	1.428		0	1.428
		2	Secretaria Acadêmica 1	8	544		0	544
		3	Secretaria Acadêmica 2	4	272		0	272
		4	Secretaria Acadêmica 3	2	136		0	136
		5	Secretaria Acadêmica 4	4	272		0	272
		6	NUDE 1	6	408		0	408
		7	NUDE 2	2	136		0	136
		8	NUDE 3	4	272		0	272
		9	Circulação: Corredor / Escada	10	680	12	1524	2.204
		10	WC	5	340		0	340
	1o. Pavimento	1	Sala Professores 1	4	272		0	272
		2	Sala Professores 2	4	272		0	272
		3	Sala Professores 3	4	272		0	272
		4	Sala Professores 4	4	272		0	272
		5	Sala Professores 5	2	136		0	136
		6	Sala Professores 6	4	272		0	272
		7	Sala Professores 7	2	136		0	136
		8	Sala Professores 8	4	272		0	272
		9	Secretaria Direção	4	272		0	272
		10	Direção	4	272		0	272
		11	GAP	4	272		0	272
		12	Apoio	4	272		0	272
		13	Sala de Reuniões 224	2	136		0	136
		14	NTIC	4	272		0	272
		15	Secretaria Administrativa	8	544		0	544
		16	Circulação: Corredor / Escada	14	952		0	952
		17	WC	5	340		0	340
	2o. Pavimento	1	Sala Professores 1	4	272		0	272
		2	Sala Professores 2	4	272		0	272
		3	Sala Professores 3	4	272		0	272
		4	Sala Professores 4	4	272		0	272
		5	Sala Professores 5	2	136		0	136
		6	Sala Professores 6	2	136		0	136
		7	Sala Professores 7	4	272		0	272
		8	Sala Professores 8	4	272		0	272
		9	Sala Professores 9	8	544		0	544
		10	Sala Professores 10	4	272		0	272
		11	Sala Professores 11	2	136		0	136
		12	Sala Professores 12	4	272		0	272
		13	Sala Professores 13	2	136		0	136
		14	Sala Professores 14	4	272		0	272
		15	Sala Professores 15	4	272		0	272
		16	Sala Professores 16	4	272		0	272
		17	Sala Professores 17	4	272		0	272
		18	Circulação: Corredor / Escada	14	952		0	952
19	WC	5	340		0	340		
TOTAL				226	15.368	12	1524	16.892

Fig. 48 – Iluminação do Prédio Administrativo.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						TOTAL W
			1x20W		2 x 32 W		47 W LFC		
			Número	Potência	Número	Potência	Número	Potência	
Prédio Reitoria e Assessoria de Obras	1	Sala 1		-	8	512		-	512
	2	Sala 1A		-	2	128		-	128
	3	Sala 1B		-	2	128		-	128
	4	Sala 2		-	6	384		-	384
	5	Sala 3		-	6	384		-	384
	6	Sala 4 - EAD		-	9	576		-	576
	7	Sala 5 - PROPI		-	12	768		-	768
	8	Circulação: Corredor / Escada		-	9	576		-	576
	9	WC	4	88	4	256	6	282	626
TOTAL			4	88	58	3.712	6	282	4.082

Fig. 49 – Iluminação Prédio Reitoria e Assessoria de Obras.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						TOTAL W
			1x20W		2 x 32 W		47 W LFC		
			Número	Potência	Número	Potência	Número	Potência	
Cantina	1	Varanda	-	-	13	611	14	658	1.269
	2	Salão	-	-	12	564	-	-	564
	3	Serviço e Vendas	-	-	6	282	-	-	282
	4	Cozinha	-	-	3	141	-	-	141
	5	DML	16	352	-	-	-	-	352
	9	WC	5	110	-	-	-	-	110
TOTAL			21	462	34	1.598	14	658	2.718

Fig. 50 – Iluminação Prédio Cantina.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W
			1x20W		2 x 32 W		
			Número	Potência	Número	Potência	
Pavilhão Máquinas Agrícolas	1	Sala 1	4	80	8	544	624
	2	Sala 2	4	80	17	1.156	1.236
	3	Sala de Apoio	-	-	2	136	136
	4	WC	-	-	2	136	136
TOTAL			8	160	29	1.972	2.132

Fig. 51 – Iluminação Pavilhão Máquinas Agrícolas.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual								TOTAL W
			1x20W		47 W LFC		2 x 32 W		VS 100 + Reator		
			Número	Potência	Número	Potência	Número	Potência	Número	Potência	
Prédio Laboratório Engenharia Mecânica	1	Sala 1	-	-	-	-	8	544	-	-	544
	2	Sala 1A	-	-	-	-	2	136	-	-	136
	3	Sala 1B	-	-	-	-	2	136	-	-	136
	4	Sala 2	-	-	-	-	2	136	-	-	136
	5	Sala 3	-	-	-	-	6	408	-	-	408
	6	Sala 4	-	-	-	-	9	612	-	-	612
	7	Sala 5	-	-	-	-	12	816	-	-	816
	8	Circulação	-	-	6	282	5	340	16	2.032	2.654
	9	WC	5	100	-	-	4	272	-	-	372
TOTAL			5	100	6	282	50	3.400	16	2.032	5.814

Fig. 52 – Iluminação Laboratórios Engenharia Mecânica

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						TOTAL W	
			26W LFC		1 x 32		2 x 32			
			Número	Potência	Número	Potência	Número	Potência		
NTIC	Térreo	1	Sala dos Servidores		-		-	10	680	680
		2	Sala CORIS		-		-	25	1.700	1.700
		3	Sala de Reuniões		-		-	9	612	612
		4	Sala de Treinamento		-		-	10	680	680
		5	Almoxarifado		-		-	4	272	272
		6	Recepção		-		-	1	68	68
		7	Área Técnica		-		-	2	136	136
		8	Circulação: Corredor / Escada	36	936		-	15	1.020	1.956
		9	WC Comum		-	3	102	4	272	374
	1o. Pavimento	1	Coordenação Desenvolvimento		-		-	21	1.428	1.428
		2	Sala 1		-		-	12	816	816
		3	Sala 2		-		-	12	816	816
		4	Direção		-		-	6	408	408
		5	Sala de Reuniões		-		-	15	1.020	1.020
		6	Copa		-		-	6	408	408
		7	Área Técnica		-		-	2	136	136
		8	Circulação: Corredor / Escada		-		-	20	1.360	1.360
		9	WC Comum		-	3	102	4	272	374
TOTAL				36	936	6	204	178	12.104	13.244

Fig. 53 – Iluminação no NTIC.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W	
			1 x 32		2 x 32			
			Número	Potência	Número	Potência		
Laboratórios Elétrica	Térreo	1	LABRIMGEE		-	18	1.224	1.224
		2	Sala dos Técnicos		-	4	272	272
		3	Depósito		-	2	136	136
		4	Lab Máq. Autom Cont		-	20	1.360	1.360
		5	Lab. Micro Eletronica		-	16	1.088	1.088
		6	Copa		-	1	68	68
		7	Circulação: Corredor / Escada	2	68	13	884	952
		8	WC Comum	2	68	1	68	136
	1o. Pavimento	1	Sala de Professores		-	12	816	816
		2	Sala Projetos Pós Graduação		-	16	1.088	1.088
		3	Lab. Modelagem Simul Alto Desemp		-	15	1.020	1.020
		4	Sala dos Técnicos		-	4	272	272
		5	Depósito		-	2	136	136
		6	Lab. Telecomunicações		-	16	1.088	1.088
		7	Circulação: Corredor / Escada	2	68	13	884	952
		8	WC Comum	2	68	1	68	136
TOTAL				8	272	154	10.472	10.744

Fig. 54 – Iluminação Laboratórios Engenharia Elétrica.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				TOTAL W	
			2 x 16 W		2 x 32 W			
			Número	Potência	Número	Potência		
Laboratórios Civil	Térreo	1		-	4	272	272	
		2		-	1	68	68	
		3		-	6	408	408	
		4		-	-	-	-	
		5		-	4	272	272	
		6		-	1	68	68	
		7		-	8	544	544	
		8		-	16	1.088	1.088	
		9		-	-	-	-	
		10		-	17	1.156	1.156	
		11		-	2	136	136	
		12		-	20	1.360	1.360	
		13		-	2	136	136	
		14		3	102	13	884	986
		15		2	68	2	136	204
	1o. Pavimento	1		-	3	204	204	
		2		-	2	136	136	
		3		-	4	272	272	
		4		-	2	136	136	
		5		-	4	272	272	
		6		-	1	68	68	
		7		-	32	2.176	2.176	
		8		-	13	884	884	
		9		-	2	136	136	
		10		-	11	748	748	
		11		-	2	136	136	
		12		-	6	408	408	
		13		-	6	408	408	
		14		-	6	408	408	
		15		-	6	408	408	
		16		-	15	1.020	1.020	
		17		2	68	1	68	136
	TOTAL			7	238	212	14.416	14.654

Fig. 55 – Iluminação Laboratórios Engenharia Civil.

3.2.1 Medição de campo, iluminação em Salas Tipo

Com o auxílio do professor orientador, foi realizada a medição do sistema de iluminação de duas salas consideradas tipo, ou seja, que representam uma configuração padrão de salas (salas de aula), replicadas ao longo dos blocos acadêmicos. Todas as medições foram realizadas durante o período da noite, para não ter interferência de iluminação externa, com isto considerou-se o pior cenário possível de iluminação dos ambientes, sendo que a contribuição da iluminação externa é zero. Referente à metodologia empregada para realização das medições, adotou-se o método dos lúmens ponto a ponto. Todos os valores coletados foram trabalhados em planilhas Excel.

Para este procedimento, utilizou-se de um exemplar do Luxímetro demonstrado anteriormente pela figura 6, além de um Alicata Wattímetro Digital. A figura 56 mostra um Alicata Wattímetro Digital.



Fig. 56 – Alicates Wattímetro Digital MINIPA, Modelo:ET4091.

Utilizando-se o luxímetro, efetuou-se a medição pelo método dos pontos, assim utilizando-se da 2.5.

Para as salas tipo, teve-se:

3.2.1.1 Sala Tipo 1

A sala tipo 1 é a 204, sala de aula com medidas 14,85 x 6,3m, localizada no segundo pavimento do prédio acadêmico 2. Esta sala conta com 16 luminárias, com lâmpada fluorescente tubular T8 de 32W (2 lâmpadas por luminária). Estas são distribuídas em 6 linhas de luminárias, com 3 luminárias por linha (em duas das linhas, estão sendo utilizadas apenas 2 luminárias), totalizando as 16 luminárias em funcionamento, porém para fim de cálculo do iluminamento médio considerou-se a configuração 3x6.

Através do levantamento dos pontos, e da utilização da equação 2.5, obteve-se o nível de iluminamento médio, aqui denominado L_m e expresso pela equação 3.1.

$$L_m = \frac{447,5 \cdot (N - 1) \cdot (M - 1) + 277,17 \cdot (N - 1) + 326,47 \cdot (M - 1) + 166,25}{N \cdot M} \quad (3.1)$$

Onde:

- N = Número de Luminárias por linha;

- M = Número de linhas.

Logo: $L_m = 379,33$ lux

Através do alicate wattímetro, efetuou-se a medição das grandezas elétricas reais presentes no sistema de iluminação. O sistema da sala divide-se em 3 circuitos distintos, sendo que as medidas aferidas para cada circuito são expostas pela tabela 7.

Tabela 7 – Grandezas elétricas aferidas para a iluminação da Sala Tipo 1.

Sala Tipo 1	Valores apurados			
	Grandeza Medida	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
Tensão [V]	218,9	220	220	
Corrente [A]	1,08	1,06	0,69	
THD-I [%]	23,9	25	39	
Pot. Ativa [W]	127,8	100	69,2	
Pot. Reativa [Var]	116,2	196	135	
Pot. Aparente [VA]	227	220	152	
Fator Pot. [cosØ]	0,53	0,45	0,45	

3.2.1.2 Sala Tipo 2

A sala determinada como tipo 2 é a 101, sala de aula com medidas 15,95 x 9,05m , localizada no pavimento térreo do prédio acadêmico 2. Esta sala conta com 23 luminárias, com lâmpada fluorescente tubular T8 de 32W (2 lâmpadas por luminária). Estas são distribuídas em 4 linhas de luminárias, com 6 luminárias por linha (em uma das linhas, estão sendo utilizadas apenas 5 luminárias), totalizando as 23 luminárias em funcionamento, porém para fim de cálculo do iluminamento médio considerou-se a configuração 4x6.

O levantamento no nível médio de iluminamento foi efetuado analogamente ao realizado para a Sala tipo 1.

Neste caso, obteve-se $L_m = 367,30$ lux.

O sistema da sala divide-se em 4 circuitos distintos, sendo que as medidas aferidas para cada circuito são expostas pela tabela 8.

Tabela 8 – Grandezas elétricas aferidas para a iluminação da Sala Tipo 2.

Sala Tipo 2	Valores apurados				
	Grandeza Medida	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 4
Tensão [V]	220	220	220	220	
Corrente [A]	1,49	1,58	1,53	1,1	
THD-I [%]	18	16	17	25	
Pot. Ativa [W]	196,8	195,4	195	116,4	
Pot. Reativa [Var]	270,4	224	268	212	
Pot. Aparente [VA]	333,7	327	351,5	241,5	
Fator Pot. [cosØ]	0,6	0,58	0,59	0,4	

3.3 Software Luminotécnico DIALux

O DIALux é um *software* gratuito de cálculo e simulação computacional para projetos de iluminação produzido pela empresa dinamarquesa DIAL GmbH. Oferece um catálogo de luminárias e lâmpadas dos principais fabricantes de todo o mundo. Permite verificar a iluminância que determinada luminária e lâmpada terão no ambiente projetado em modelo tridimensional, em tabelas e gráficos. Importa e exporta arquivos nos formatos .dxf e .dwg de todos os softwares CAD disponíveis. É uma ferramenta para profissionais da área de engenharia otimizarem seus projetos luminotécnicos (DIAL, 2014).

O *software* DIALux tem seu ambiente de trabalho representado na figura 57. Para este trabalho é utilizado o DIALux versão 4.12 Evo.

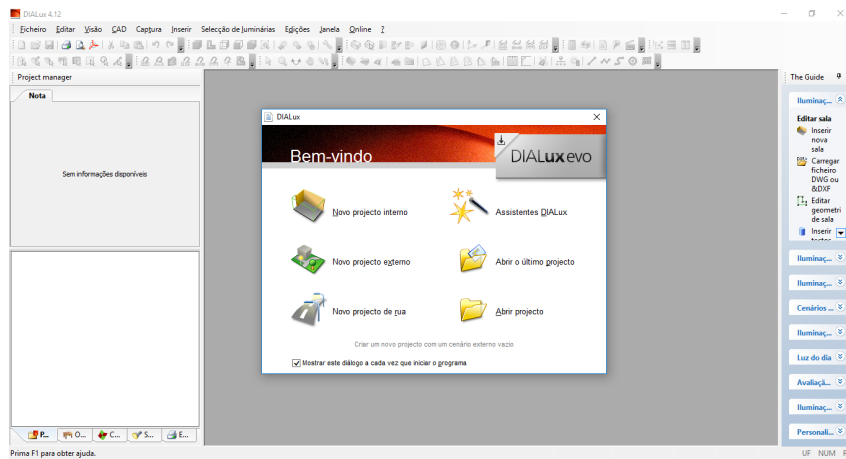


Fig. 57 – Vista do ambiente Software DIALux.

3.3.1 Simulações DIALux

Após estimar o nível de iluminamento médio existente nas duas salas tipo através das medições, temos um parâmetro de iluminamento mínimo a buscar-se através dos componentes LED. Partindo deste princípio foram realizadas simulações em *software* DIALux para cada uma das salas e suas respectivas características, porém, as simulações foram realizadas para um maior número de salas tipo, dentre elas incluem-se as salas nas quais foi realizada a medição das grandezas elétricas do sistema, conforme relatado anteriormente. Para possibilitar a comparação entre dados reais e projetados, foram realizadas duas simulações específicas para as salas tipo onde fez-se a medição de campo, considerando para estas o sistema encontrado atualmente.

Quanto à busca de plug-ins, utilizou-se o banco de dados dos fabricantes, disponível em seus respectivos sites, assim como o banco já disponível para uso no próprio *software* DIALUX.

Inicialmente, foram realizadas simulações com diversos modelos de luminárias

LED, de modo a determinar qual proporcionaria maior índice de eficiência, ampliando consequentemente a economia energética conseguida. Da análise de eficiência das luminárias, considerando a relação entre o fluxo luminoso emitido e a potência nominal do equipamento, chegou-se ao conjunto da marca Philips, modelo BPS460 1xLED24 830/840, expressa anteriormente na figura 20, com 21W de potência nominal por luminária, eficiência luminosa de 100 lúmens por Watt (a diferença entre as denominações 830 e 840 refere-se à temperatura de cor da lâmpada), sendo este conjunto que obteve os melhores registros de iluminância média para os ambientes simulados. Portanto, esta é a luminária adotada para a atualização tecnológica proposta. Os dados técnicos da luminária adotada estão expressos no *DataSheet* fornecido pelo fabricante.

Nas simulações foram considerados os cinco modelos de salas de aula predominantes no campus. Sabendo que o ambiente de sala de aula precisa de uma iluminância média maior quando comparada a outras instalações do campus (corredores, secretarias, cantina, banheiros, dentre outros), ao atender esta necessidade nivela-se por cima o iluminamento médio do ambiente interno escolar como um todo. Para todos os modelos de sala estudados, utilizou-se um fator de manutenção padrão de 0,8 (Sala muito limpa, com limpeza constante ao longo do ano), sendo que a norma (ISO, 2013) não recomenda um fator de manutenção menor que 0,7. Para configuração dos parâmetros de superfícies das salas seguiu-se a recomendação da norma supracitada, a qual limita uma faixa de valores de refletâncias para as seguintes superfícies internas, teto (60 a 90%), paredes (30 a 80%) e piso (10 a 50%). Desta forma, optou-se por utilizar o valor padrão do *software* para cada refletância, são eles:

- Teto - 70%
- Paredes - 50%
- Piso - 20%

Como a instalação dessa luminária é suspensa, adotou-se o comprimento pendular encontrado no sistema atual, 0,7m. A altura utilizada para o plano de uso, foi padrão de 0,75m.

3.3.1.1 Sala Tipo 1

Esta sala é a 204, sala de aula com medidas 14,85 x 6,3m, com recortes em "L" em 2 laterais, medindo 1,75x0,90m cada. Sua configuração atual consiste em 18 luminárias T8 2x32W, divididas em 3 linhas de 6 luminárias cada. Através da simulação em DIALux, chegou-se a um valor ideal de 28 luminárias LED 1x21W. Distribuídas em configuração 4 linhas x 6 luminárias, mais uma linha menor de 4 luminárias. A análise do programa

utilizou um total de 64 x 32 pontos, em uma escala de 1:107. O retorno da simulação com as 28 luminárias é expresso pela figura 58.

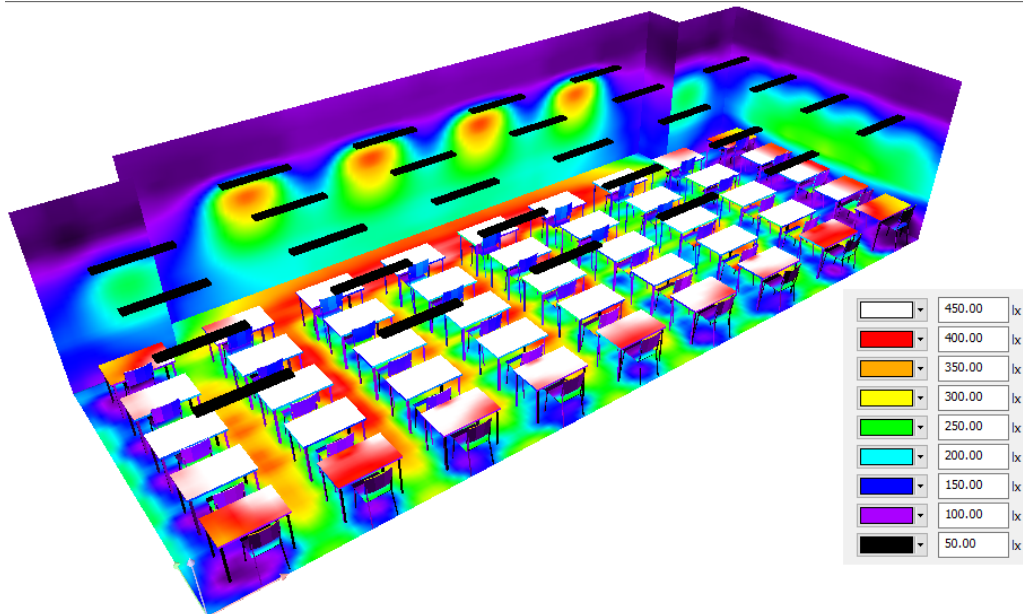


Fig. 58 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 1 - 204.

O *software* retornou um valor para iluminância mínima de 276 lux, atingindo iluminância média de 518 lux, valor bem acima do medido no sistema atual, e que atende às especificações normativas regentes. A figura 59 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

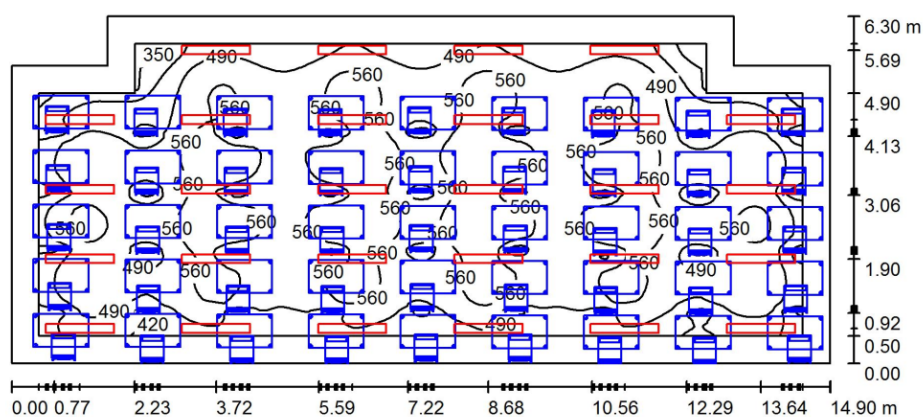


Fig. 59 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 1.

De maneira análoga para as configurações do ambiente, fez-se a simulação considerando o sistema de iluminação atual, com luminárias de 2x32W cada. O resultado obtido através do DIALux é expresso pelas figura 60

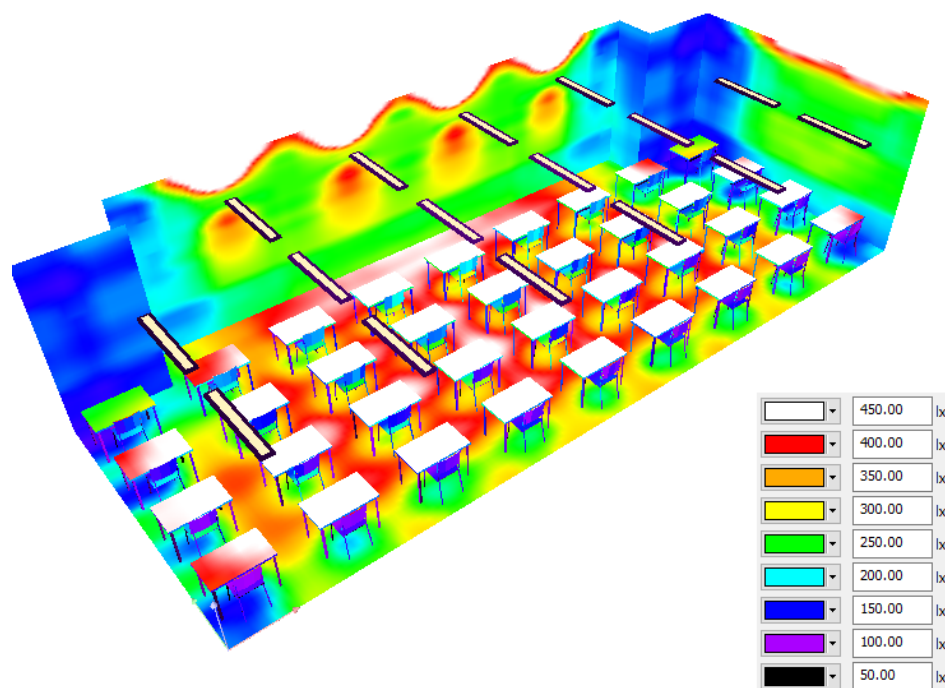


Fig. 60 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 1 - 204 (Sistema Atual).

A figura 61 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

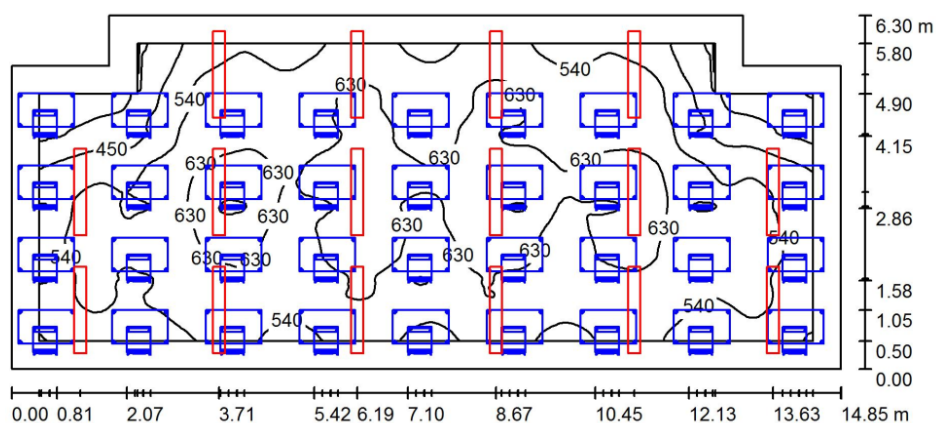


Fig. 61 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 1 (Sistema Atual).

A iluminância média obtida na simulação foi de 571 lux, enquanto a mínima registrada foi de 267 lux. Estes valores comprovam que o sistema atual atende às exigências normativas, com um índice de iluminância média bastante superior ao encontrado durante as medições de campo. Estes valores no entanto são considerados plausíveis pois o baixo fator de potência medido faz com que a luminária, na prática, não entregue a potência luminosa para a qual foi projetada.

3.3.1.2 Sala Tipo 2

Esta sala é a 101, sala de aula com medidas 15,95 x 9,05m, com recorte em "L" em uma das laterais, medindo 1,75x0,90m. Sua configuração atual consiste em 24 luminárias T8 2x32W, divididas em 4 linhas de 6 luminárias cada. Através da simulação em DIALux, chegou-se a um valor ideal de 36 luminárias LED 1x21W. Distribuídas em configuração 6 linhas x 6 luminárias. A análise do programa utilizou um total de 128 x 64 pontos, em uma escala de 1:117. O retorno da simulação para este modelo de sala é expresso pela figura 62.

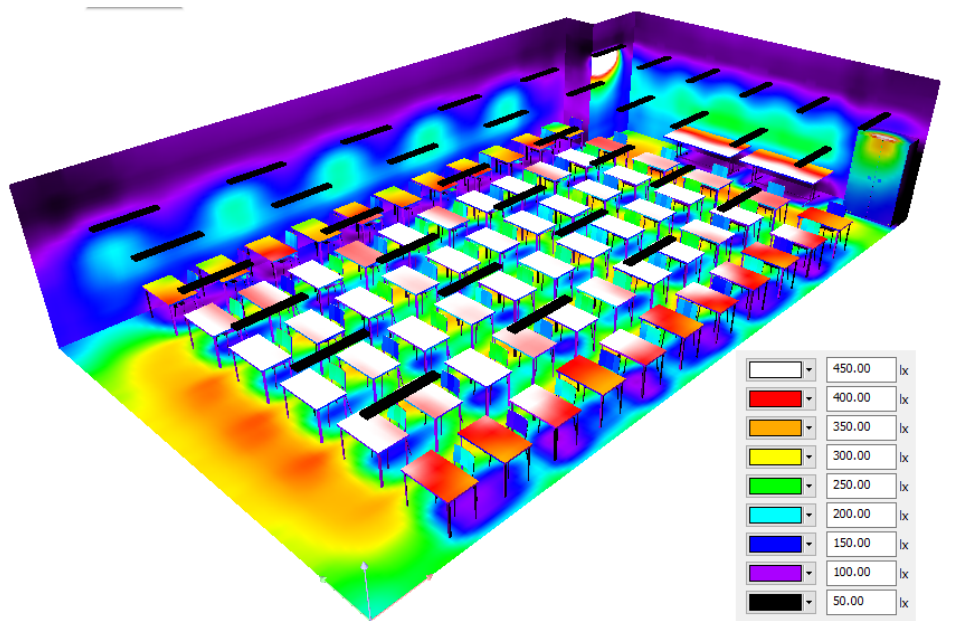


Fig. 62 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 2 - 101.

O *software* retornou um valor para iluminância mínima de 245 lux, atingindo iluminância média de 446 lux no plano de trabalho, valor também acima do medido no sistema atual. A figura 63 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

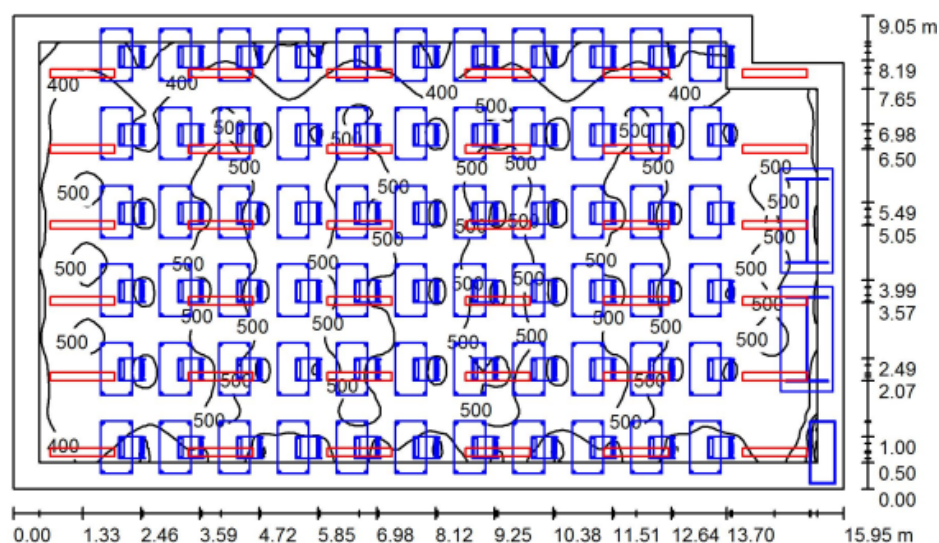


Fig. 63 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 2.

Da mesma forma como realizado para a sala tipo 1, fez-se a simulação considerando o sistema de iluminação atual, com luminárias de 2x32W cada. O resultado obtido através do DIALux é expresso pela figura 64

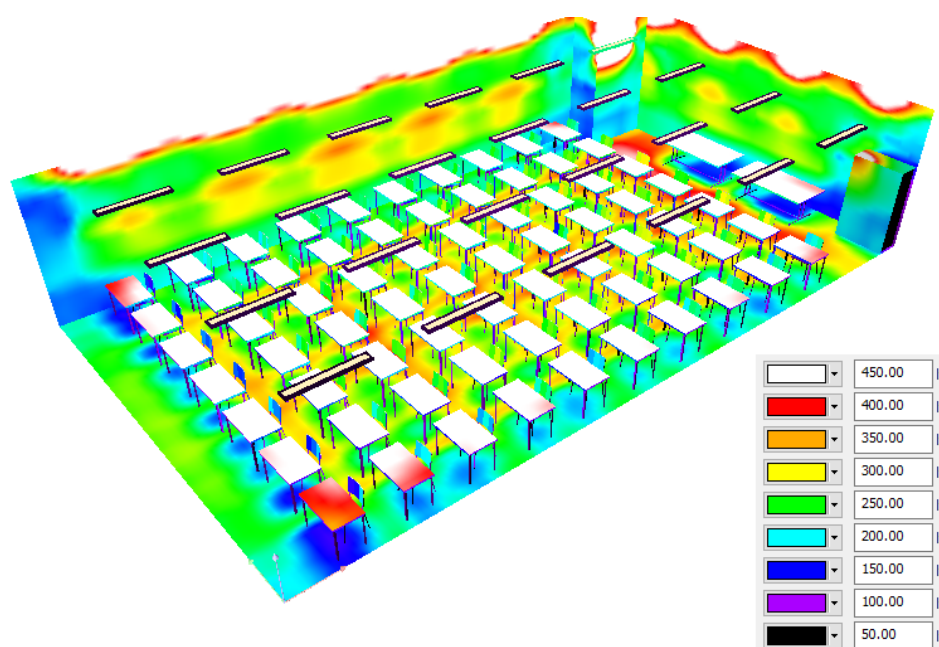


Fig. 64 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 2 - 101 (Sistema Atual).

A figura 65 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

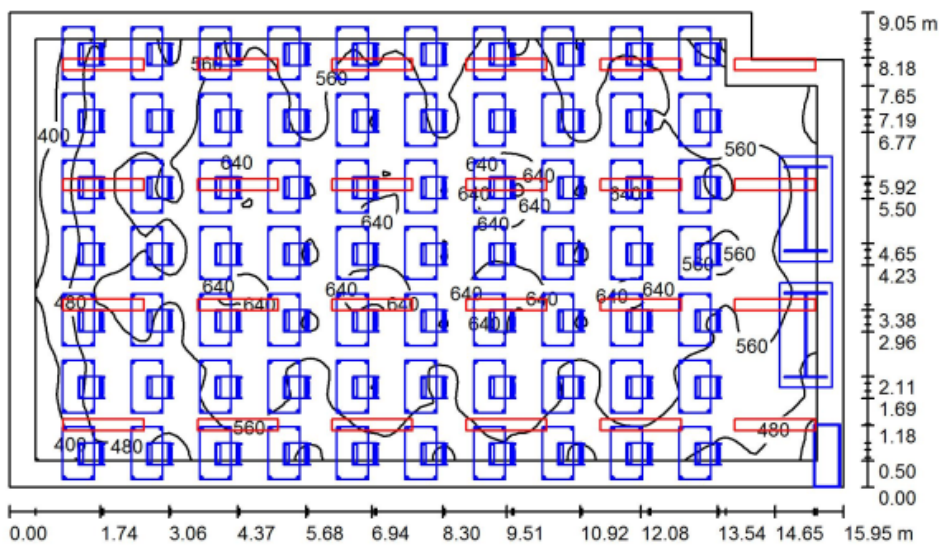


Fig. 65 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 2 (Sistema Atual).

A iluminância média encontrada foi de 562 lux, enquanto a mínima registrada foi de 318 lux. Comprovando portanto que o sistema atende às exigências normativas. Apesar da iluminância média bastante superior ao encontrado durante as medições de campo, a diferença é considerada plausível pois o baixo fator de potência medido faz com que a luminária, na prática, não entregue a potência luminosa para a qual foi projetada.

3.3.1.3 Sala Tipo 3

Esta sala consiste no Laboratório de Informática 1, com medidas 9,75 x 6,3m. Sua configuração atual consiste em 12 luminárias T8 2x32W, divididas em 3 linhas de 4 luminárias cada. Através da simulação em DIALux, chegou-se a um valor ideal de 18 luminárias LED 1x21W. Distribuídas em configuração 3 linhas x 6 luminárias. A análise do programa utilizou uma grade de 128 x 128 pontos, em uma escala de 1:81. Vale ressaltar que, em função do uso final deste ambiente, o plano de trabalho considerado foi aumentado para 0,85m. O retorno da simulação para este modelo de sala é expresso pela figura 66.

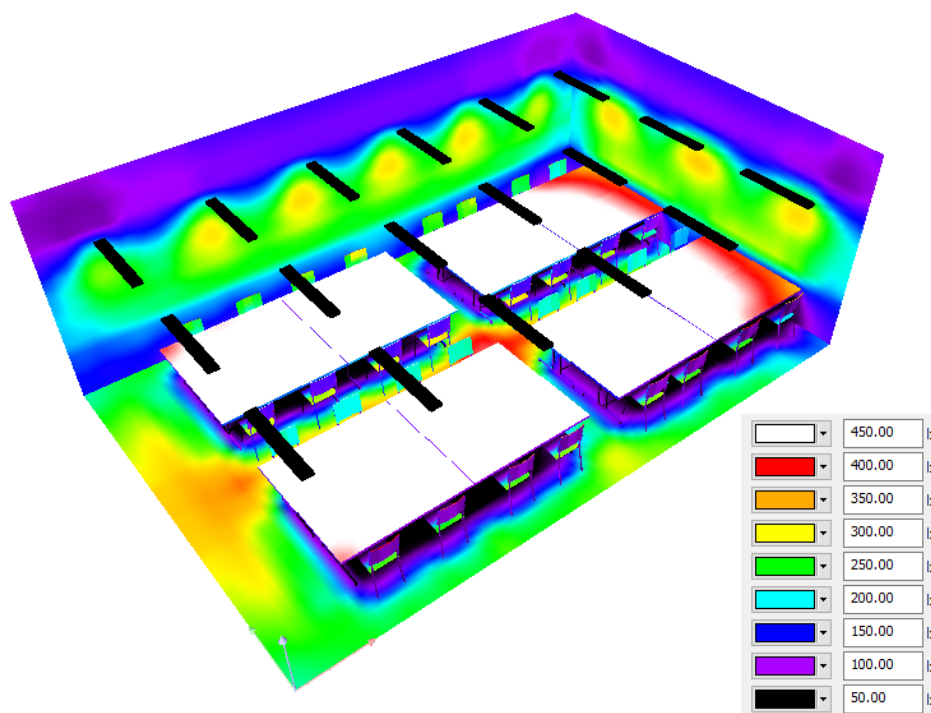


Fig. 66 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 3 - Lab Info 1.

O *software* retornou um valor para iluminância mínima de 371 lux, atingindo iluminância média de 514 lux no plano de trabalho, valor que supre com sobras o solicitado pela norma. A figura 67 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

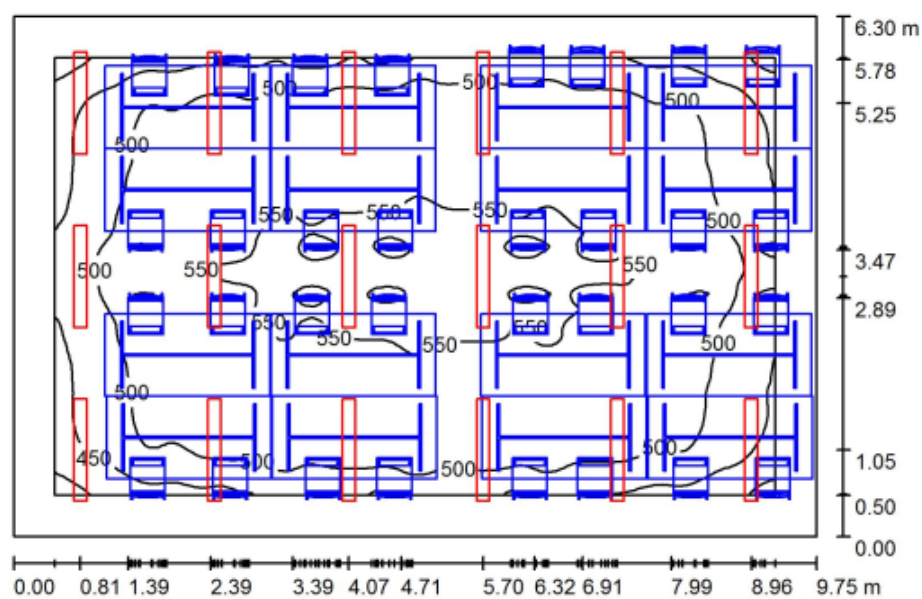


Fig. 67 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 3.

3.3.1.4 Sala Tipo 4

Esta sala é a 205B, uma sala de aula menor que as anteriores, com medidas 9,95 x 6,3m. Sua configuração atual consiste em 11 luminárias T8 2x32W, divididas em 2 linhas de 4 luminárias mais 1 linha com 3 luminárias. Através da simulação em DIALux, chegou-se a um valor ideal de 15 luminárias LED 1x21W. Distribuídas em configuração 3 linhas x 5 luminárias. A análise do programa utilizou uma grade de 128 x 128 pontos, em uma escala de 1:81.

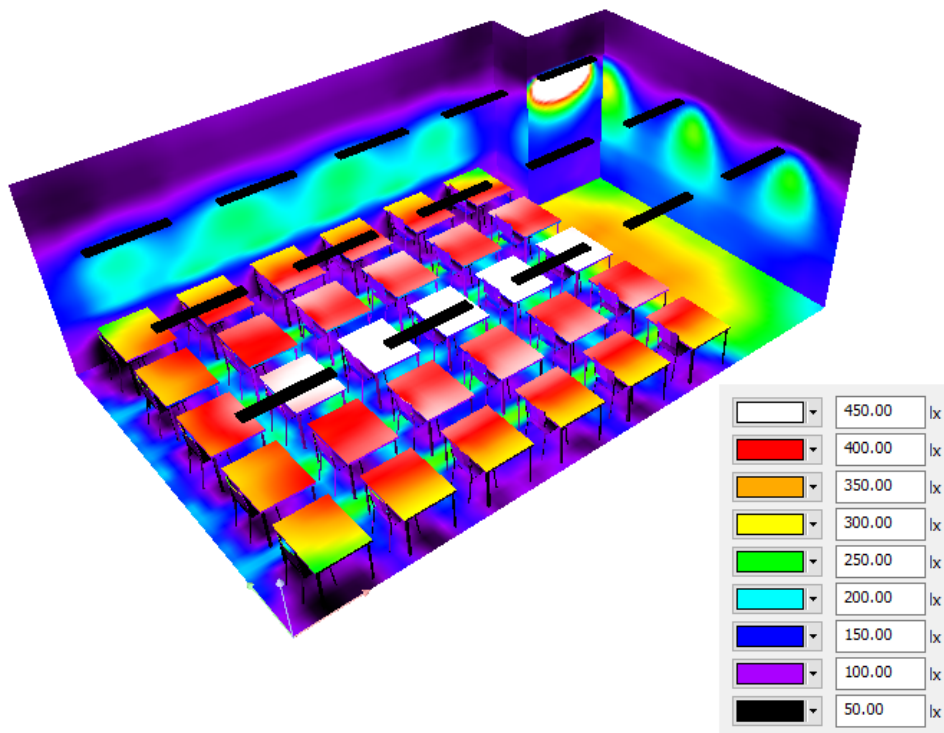


Fig. 68 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 4 - 205B.

O retorno da simulação para este modelo de sala é expresso pela figura 68.

O *software* retornou um valor para iluminância mínima de 265 lux, atingindo iluminância média de 412 lux no plano de trabalho, valor que supre o que é solicitado em norma. A figura 69 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

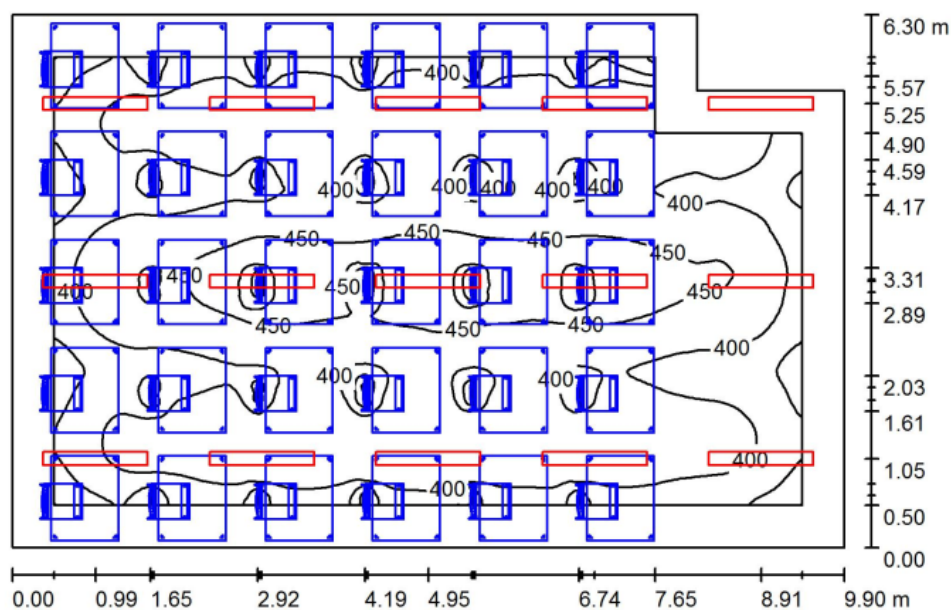


Fig. 69 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 4.

3.3.1.5 Sala Tipo 5

Esta sala é a 203, com medidas 13,35 x 6,3m. Sua configuração atual consiste em 14 luminárias T8 2x32W, divididas em 3 linhas de 4 luminárias mais 1 linha com 2 luminárias. Através da simulação em DIALux, chegou-se a um valor ideal de 23 luminárias LED 1x21W. Distribuídas em configuração 3 linhas x 6 luminárias mais 1 linha com 5 luminárias. A análise do programa utilizou uma grade de 128 x 128 pontos, em uma escala de 1:96. O retorno da simulação para este modelo de sala é expresso pela figura 70.

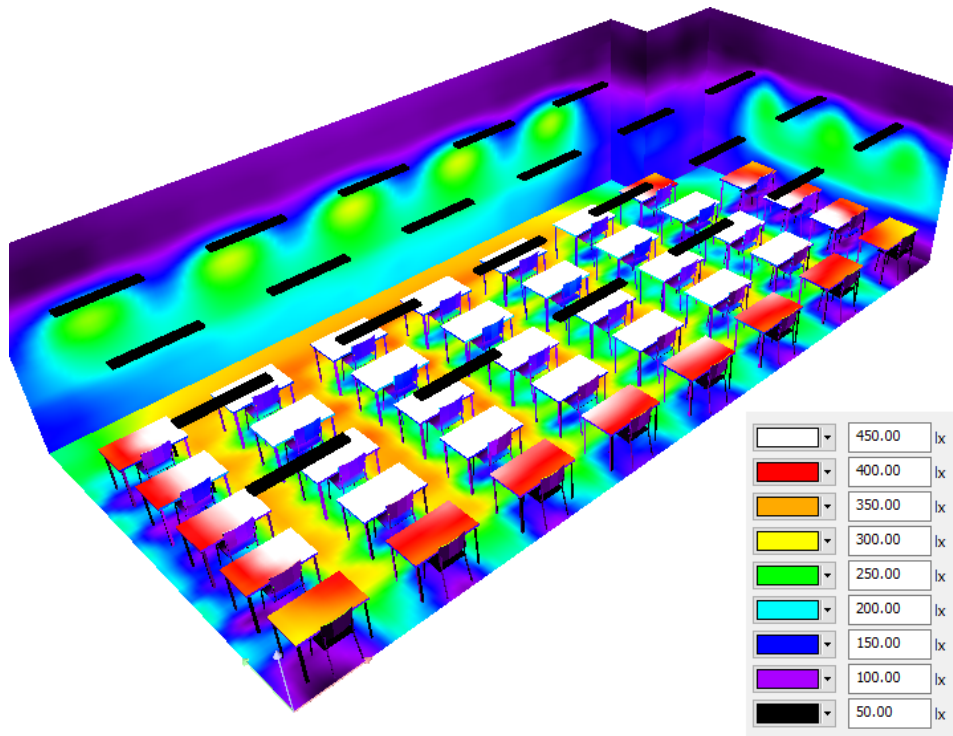


Fig. 70 – Ambiente simulado em DIALux para a Sala tipo 5 - 203 .

O *software* retornou um valor para iluminância mínima de 240 lux, atingindo iluminância média de 474 lux no plano de trabalho, valor que atende a norma. A figura 71 demonstra ainda o resultado em planta baixa da simulação, com os principais níveis de iluminância por toda a área da sala.

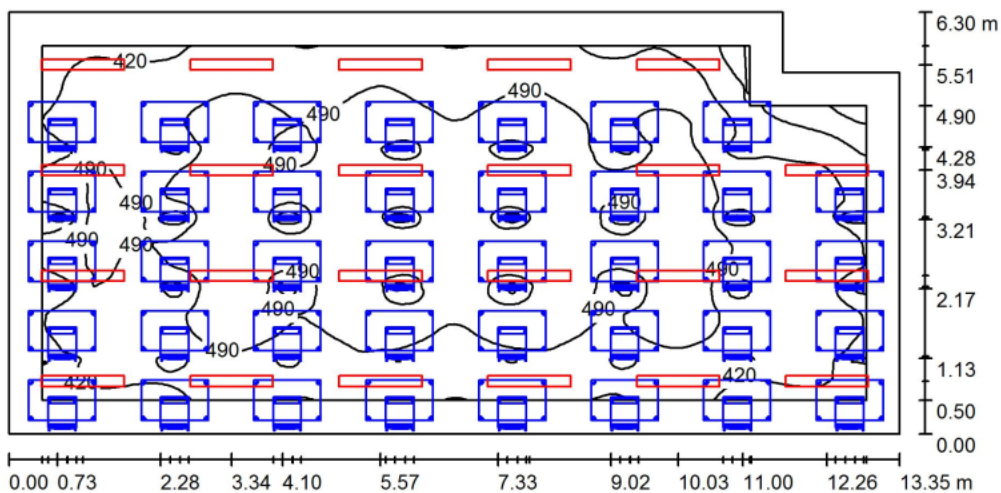


Fig. 71 – Planta Baixa com níveis de iluminância resultantes - Sala tipo 5.

3.4 Atualização de Carga

Para a obtenção de um modelo de mini geração distribuída capaz de atender a todas as necessidades energéticas do campus, precisa-se primeiramente estimar a nova carga instalada que teria-se ao implementar as modificações propostas para iluminação. Através dos dados de carga atualizados, chega-se a uma nova previsão da demanda anual de energia, dada em MWh. Esta pode influenciar nas especificações adotadas para a instalação fotovoltaica, assim como no custo de implantação e conseqüentemente na viabilidade econômica do sistema de mini geração.

3.4.1 Iluminação

Após as simulações realizadas na seção anterior, é necessário estimar-se a nova carga instalada alcançada com a substituição do sistema atual pelo proposto. Para isto, fez-se primeiramente uma análise do quanto, em média, é preciso aumentar o número de luminárias de 1 lâmpada da nova tecnologia em relação à tecnologia empregada atualmente com 2 lâmpadas por luminária, de modo a suprir as necessidades luminosas de cada ambiente. Com base nas simulações realizadas, o fator de aumento a ser adotado é +50%, ou seja, para cada luminária atual, utiliza-se em média 1,5 luminárias LED 21W. Devido a ocorrência eventual de valores não inteiros, utilizou-se de recurso em planilha Excel para arredondamento.

Com este fator determinado, é possível expandir a análise para as demais dependências do campus, chegando-se assim à um novo valor para a carga total de iluminação instalada. Para os modelos de lâmpadas e ou luminárias de arquitetura diferenciada das tubulares 2x32W ou 1x32W, adotaram-se os mesmos equipamentos empregados em (KAEHLER, 2017), por estes serem considerados de eficiência já atualizada.

Os quadros expostos anteriormente da figura 44 até a figura 55, que reportavam a carga atual em cada prédio do campus, são agora atualizados para a nova tecnologia. Esta carga é descrita individualmente por prédio, através do que é descrito nos quadros das figuras 72 a 84.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				Sistema Proposto			
			1x32W		2x32W		Total [W]	1x21 LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Potência	
Acadêmico 1	Térreo	1	109	-	12	816,0	816,0	18	378,0	
		2	111/113	-	15	1.020,0	1.020,0	22	462,0	
		3	115	-	9	612,0	612,0	13	273,0	
		4	Laboratório de Física	-	4	272,0	272,0	6	126,0	
		5	NTI	-	4	272,0	272,0	6	126,0	
		6	Circulação: Corredor/Escada	8	272,0		272,0	12	252,0	
		7	WC	-	5	340,0	340,0	7	147,0	
	Pav. 1	1	NTIC	-	12	816,0	816,0	18	378,0	
		2	Laboratório de Eletrotécnica	-	27	1.836,0	1.836,0	40	840,0	
		3	Sala 210	-	16	1.088,0	1.088,0	24	504,0	
		4	Sala 212	-	16	1.088,0	1.088,0	24	504,0	
		5	Circulação: Corredor/Escada	8	272,0		272,0	0	-	
		6	WC	-	5	340,0	340,0	7	147,0	
	Pav. 2	1	Sala 310	-	16	1.088,0	1.088,0	24	504,0	
		2	Sala 312	-	16	1.088,0	1.088,0	24	504,0	
		3	Sala 309	-	9	612,0	612,0	13	273,0	
		4	Sala 311	-	9	612,0	612,0	13	273,0	
		5	Sala 313 Vídeo Conferência	-	6	408,0	408,0	9	189,0	
		6	Sala 315	-	12	816,0	816,0	18	378,0	
		7	Circulação: Corredor/Escada	8	272,0		272,0	12	252,0	
		8	WC	-	5	340,0	340,0	7	147,0	
	TOTAL			24	816,0	198	13.464,0	14.280,0	317	6.657,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
14,28		7,623	53,4

Fig. 72 – Quadro comparativo da carga para iluminação do Prédio Acadêmico 1.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						Sistema Proposto							
			1x20W		2x32W		47W LFC		Total [W]	7W LED		1x21W LED		9W LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência	
Reitoria e Assessoria de Obras	1	Sala 1	0	-	8	544,0	0	-	544,0	0	0	12	252,0			252,0
	2	Sala 1 A	0	-	2	136,0	0	-	136,0	0	0	3	63,0			63,0
	3	Sala 1 B	0	-	2	136,0	0	-	136,0	0	0	3	63,0			63,0
	4	Sala 2	0	-	6	408,0	0	-	408,0	0	0	9	189,0			189,0
	5	Sala 3	0	-	6	408,0	0	-	408,0	0	0	9	189,0			189,0
	6	Sala 4 - EAD	0	-	9	612,0	0	-	612,0	0	0	13	273,0			273,0
	7	Sala 5 - PROPI	0	-	12	816,0	0	-	816,0	0	0	18	378,0			378,0
	8	Circulação: Corredor/Escada	0	-	9	612,0	0	-	612,0	0	0	13	273,0			273,0
	9	WC	4	88,0	4	272,0	6	282,0	642,0	4	28	6	126,0	6	54	208,0
TOTAL			4	88,0	58	3.944,0	6	282,0	4.314,0	4	28	86	1.806,0	6	54	1.888,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
4,314		2,426	56,23551

Fig. 73 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio da Reitoria e Assessoria de Obras.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual		Sistema Proposto		
			2x32W		1x21 LED		
			Quant.	Potência	Quant.	Total [W]	
Acadêmico 2	Térreo	1	Sala 101	19	1.292,0	28	588,0
		2	Sala 102	17	1.156,0	25	525,0
		3	Sala 103	12	816,0	18	378,0
		4	Laboratório Eng. Civil	16	1.088,0	24	504,0
		5	Diretório Acadêmico	4	272,0	6	126,0
		6	Sala 104 - Sala de estudos	17	1.156,0	25	525,0
		7	Circulação: Corredor/Escada	8	544,0	12	252,0
		8	WC	5	340,0	7	147,0
	Pav. 1	1	Sala 201	23	1.564,0	34	714,0
		2	Sala 202	17	1.156,0	25	525,0
		3	Sala 203	14	952,0	21	441,0
		4	Sala 204	16	1.088,0	24	504,0
		5	Sala 205	20	1.360,0	30	630,0
		6	Circulação: Corredor/Escada	11	748,0	16	336,0
		7	WC	5	340,0	7	147,0
	Pav. 2	1	Sala 301	23	1.564,0	34	714,0
		2	Sala 302	17	1.156,0	25	525,0
		3	Sala 303	14	952,0	21	441,0
		4	Sala 304	16	1.088,0	24	504,0
		5	Sala 305	20	1.360,0	30	630,0
		6	Circulação: Corredor/Escada	11	748,0	16	336,0
7		WC	5	340,0	7	147,0	
TOTAL				310	21.080,0	459	9.639,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
21,08		11,441	54,3

Fig. 74 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Acadêmico 2

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						Sistema Proposto							
			1x20W		2x32W		47W LFC		Total [W]	7W LED		1x21W LED		9W LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência	
Cantina	1	Varanda	0	-	13	884,0	14	658,0	1.542,0	0	-	19	399,0	0	-	399,0
	2	Salão	0	-	12	816,0	0	-	816,0	0	-	18	378,0	0	-	378,0
	3	Serviço e Vendas	0	-	6	408,0	0	-	408,0	0	-	9	189,0	0	-	189,0
	4	Cozinha	0	-	3	204,0	0	-	204,0	0	-	4	84,0	0	-	84,0
	5	DML	16	352,0	0	-	0	-	352,0	16	112,0	0	-	0	-	112,0
	6	WC	5	110,0	0	-	0	-	110,0	5	35,0	0	-	14	126,0	161,0
TOTAL			21	462,0	34	2.312,0	14	658,0	3.432,0	21	147,0	50	1.050,0	14	126,0	1.323,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
3,432		2,109	61,45105

Fig. 75 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio da Cantina

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				Sistema Proposto					
			2x32W		VM 100 + REATOR		Total [W]	1x21 LED		70W LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	Quant.	Potência	
Térreo	1	Biblioteca	21	1.428,0			1.428,0	31	651,0			651,0
	2	Secretaria Acadêmica 1	8	544,0			544,0	12	252,0			252,0
	3	Secretaria Acadêmica 2	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	4	Secretaria Acadêmica 3	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	5	Secretaria Acadêmica 4	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	6	NUDE 1	6	408,0			408,0	9	189,0			189,0
	7	NUDE 2	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	8	NUDE 3	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	9	Circulação: Corredor/Escada	10	680,0	12	1.524,0	2.204,0	15	315,0	12	840	1.155,0
	10	WC	5	340,0			340,0	7	147,0			147,0
Admin.	1	Sala Professores 1	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	2	Sala Professores 2	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	3	Sala Professores 3	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	4	Sala Professores 4	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	5	Sala Professores 5	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	6	Sala Professores 6	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	7	Sala Professores 7	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	8	Sala Professores 8	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	9	Secretaria Direção	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	10	Direção	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	11	GAP	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	12	Apoio	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	13	Sala de Reuniões 224	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	14	NTIC	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
	15	Secretaria Administrativa	8	544,0			544,0	12	252,0			252,0
	16	Circulação: Corredor/Escada	14	952,0			952,0	21	441,0			441,0
	17	WC	5	340,0			340,0	7	147,0			147,0

Fig. 76 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Administrativo (Parte 1)

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				Sistema Proposto						
			2x32W		VM 100 + REATOR		Total [W]	1x21 LED		70W LED		Total [W]	
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	Quant.	Potência		
Admin.	Pav. 2	1	Sala Professores 1	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		2	Sala Professores 2	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		3	Sala Professores 3	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		4	Sala Professores 4	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		5	Sala Professores 5	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
		6	Sala Professores 6	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
		7	Sala Professores 7	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		8	Sala Professores 8	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		9	Sala Professores 9	8	544,0			544,0	12	252,0			252,0
		10	Sala Professores 10	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		11	Sala Professores 11	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
		12	Sala Professores 12	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		13	Sala Professores 13	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
		14	Sala Professores 14	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		15	Sala Professores 15	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		16	Sala Professores 16	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		17	Sala Professores 17	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		18	Circulação: Corredor/Escada	14	952,0			952,0	21	441,0			441,0
		19	WC	5	340,0			340,0	7	147,0			147,0
TOTAL			226	15.368,0	12	1.524,0	16.892,0	337	7.077,0	12	840	7.917,0	

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
16,89		8,975	53,1

Fig. 77 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Prédio Administrativo (Parte 2)

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual					Sistema Proposto					
			2x32W		26W LFC		Total [W]	1x21 LED		9W LED		Total [W]	
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	Quant.	Potência		
Casa Estudantes	Térreo	1	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		2	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		3	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		4	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		5	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		6	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		7	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		8	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		9	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		10	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0	
		11	Área de Convivência	10	680,0	2	52,0	732,0	15	315,0	2	18,0	333,0
		12	Circulação: Corredor/Escada	9	612,0	0	-	612,0	13	273,0	0	-	273,0
	13	WC Comum	0	-	2	52,0	52,0	0	-	2	18,0	18,0	
	Pav. 1	1	Apartamento 1	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		2	Apartamento 2	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		3	Apartamento 3	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		4	Apartamento 4	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		5	Apartamento 5	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		6	Apartamento 6	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		7	Apartamento 7	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		8	Apartamento 8	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		9	Apartamento 9	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
		10	Apartamento 10	0	-	7	182,0	182,0	0	-	7	63,0	63,0
11		Dormitórios	0	-	12	312,0	312,0	0	-	12	108,0	108,0	
12	Circulação: Corredor/Escada	13	884,0	-	-	884,0	19	399,0	-	-	399,0		
13	WC Comum	0	-	8	208,0	208,0	0	-	8	72,0	72,0		
TOTAL			32	2.176,0	164	4.264,0	6.440,0	47	987,0	164	1.476,0	2.463,0	

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
6,44		3,977	61,75

Fig. 78 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação da Casa de Estudantes.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual					Sistema Proposto				
			2x32W		1x20W		Total [W]	1x21 LED		7W LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	Quant.	Potência	
Pavilhão Máquinas Agrícolas	1	Sala 1	8	544,0	4	88,0	632,0	12	252,0	4	28,0	280,0
	2	Sala 2	17	1.156,0	4	88,0	1.244,0	25	525,0	4	28,0	553,0
	3	Sala de Apoio	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0	0	-	63,0
	4	WC	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0	0	-	63,0
TOTAL			29	1.972,0	8	176,0	2.148,0	43	903,0	8	56,0	959,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
2,15		1,189	55,35

Fig. 79 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Pavilhão de Máquinas Agrícolas.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual								Sistema Proposto									
			2x32W		47W LFC		VS 100 + Reator		1x20W		Total [W]	1x21 LED		70W LED		9W LED		7W LED		Total [W]
			Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	Quant.	Total [W]	Quant.	Total [W]	Quant.	Potência	
Lab. Eng. Mecânica	1	Sala 1	8	544,0	0	-	0	-	0	-	544,0	12	252,0	0	-	0	-	-	-	252,0
	2	Sala 1 A	2	136,0	0	-	0	-	0	-	136,0	3	63,0	0	-	0	-	-	-	63,0
	3	Sala 1 B	2	136,0	0	-	0	-	0	-	136,0	3	63,0	0	-	0	-	-	-	63,0
	4	Sala 2	2	136,0	0	-	0	-	0	-	136,0	3	63,0	0	-	0	-	-	-	63,0
	5	Sala 3	6	408,0	0	-	0	-	0	-	408,0	9	189,0	0	-	0	-	-	-	189,0
	6	Sala 4	9	612,0	0	-	0	-	0	-	612,0	13	273,0	0	-	0	-	-	-	273,0
	7	Sala 5	12	816,0	0	-	0	-	0	-	816,0	18	378,0	0	-	0	-	-	-	378,0
	8	Circulação	5	340,0	6	282,0	16	2.032,0	0	-	2.654,0	7	147,0	16	1.120,0	6	54,0	-	-	1.321,0
	9	WC	4	272,0	0	-	0	-	5	110,0	382,0	6	126,0	0	-	0	-	5	35,0	161,0
TOTAL			50	3.400,0	6	282,0	16	2.032,0	5	110,0	5.824,0	74	1.554,0	16	1.120,0	6	54,0	5	35,0	2.763,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
5,82		3,061	52,56

Fig. 80 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Mecânica.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				Total [W]	Sistema Proposto					
			2x32W		VM 150 + REATOR			1x21 LED	70W LED		Total [W]		
			Quant.	Potência	Quant.	Potência			Quant.	Potência			
Pampatec	Bloco 1 Direito	1	Sala 1-1	7	476,0			476,0	10	210,0			210,0
		2	Sala 1-2	6	408,0			408,0	9	189,0			189,0
		3	Sala 1-3	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		4	Sala 1-4	6	408,0			408,0	9	189,0			189,0
		5	Sala 1-5	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		6	Sala 1-6	8	544,0			544,0	12	252,0			252,0
		7	Sala 1-7	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		8	Circulação: Corredor/Escada	10	680,0			680,0	15	315,0			315,0
		9	WC	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	Bloco 2 Centro	1	Sala 2-1	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		2	Sala 2-2 Direção	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		3	Sala 2-3	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		4	Sala 2-4 Reuniões	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		5	Sala 2-5	5	340,0			340,0	7	147,0			147,0
		6	Sala 2-6	1	68,0			68,0	1	21,0			21,0
		7	Sala 2-7	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
		8	Sala 2-8 Entrada	9	612,0	16	2.816,0	3.428,0	13	273,0	16	1.120,0	1.393,0
		9	WC	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	Bloco 3 Esquerdo	1	Sala 3-1	18	1.224,0			1.224,0	27	567,0			567,0
		2	Sala 3-2	12	816,0			816,0	18	378,0			378,0
		3	Sala 3-3	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		4	Sala 3-4	9	612,0			612,0	13	273,0			273,0
		5	Sala 3-5 Entrada	4	272,0			272,0	6	126,0			126,0
		6	Circulação: Corredor/Escada	11	748,0			748,0	16	336,0			336,0
		9	WC	2	136,0			136,0	3	63,0			63,0
	TOTAL			186	12.648,0	16	2.816,0	15.464,0	272	5.712,0	16	1.120,0	6.832,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
15,46		8,632	55,82

Fig. 81 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Pampatec.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual						Sistema Proposto						
			1x32W		2x32W		26W LFC		Total [W]	1x21W LED		9W LED		Total [W]	
			Quant.	Potência	Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Potência	Quant.	Potência		
NTIC	Térreo	1	Sala dos Servidores	0	-	10	680,0	0	-	680,0	15	315,0	0	-	315,0
		2	Sala CORIS	0	-	25	1.700,0	0	-	1.700,0	37	777,0	0	-	777,0
		3	Sala de Reuniões	0	-	9	612,0	0	-	612,0	13	273,0	0	-	273,0
		4	Sala de Treinamento	0	-	10	680,0	0	-	680,0	15	315,0	0	-	315,0
		5	Almoxarifado	0	-	4	272,0	0	-	272,0	6	126,0	0	-	126,0
		6	Recepção	0	-	1	68,0	0	-	68,0	1	21,0	0	-	21,0
		7	Área Técnica	0	-	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0	0	-	63,0
		8	Circulação: Corredor/Escada	0	-	15	1.020,0	36	936,0	1.956,0	22	462,0	36	324,0	786,0
		9	WC Comum	3	102,0	4	272,0	0	-	374,0	10	210,0	0	-	210,0
	Pav. 1	1	Coordenação Desenvol.	0	-	21	1.428,0	0	-	1.428,0	31	651,0	0	-	651,0
		2	Sala 1	0	-	12	816,0	0	-	816,0	18	378,0	0	-	378,0
		3	Sala 2	0	-	12	816,0	0	-	816,0	18	378,0	0	-	378,0
		4	Direção	0	-	6	408,0	0	-	408,0	9	189,0	0	-	189,0
		5	Sala de Reuniões	0	-	15	1.020,0	0	-	1.020,0	22	462,0	0	-	462,0
		6	Copa	0	-	6	408,0	0	-	408,0	9	189,0	0	-	189,0
		7	Área Técnica	0	-	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0	0	-	63,0
		8	Circulação: Corredor/Escada	0	-	20	1.360,0	0	-	1.360,0	30	630,0	0	-	630,0
		9	WC Comum	3	102,0	4	272,0	0	-	374,0	10	210,0	0	-	210,0
TOTAL				6	204,0	178	12.104,0	36	936,0	13.244,0	272	5.712,0	36	324,0	6.036,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
13,244		7,208	54,42465

Fig. 82 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do prédio do NTIC.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual				Sistema Proposto			
			2x32W		1x32W		Total [W]	1x21 LED		
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]	
Lab Eng Elétrica	Térreo	1	LABRIMGEE	18	1.224,0	0	-	1.224,0	27	567,0
		2	Sala dos Técnicos	4	272,0	0	-	272,0	6	126,0
		3	Depósito	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0
		4	Lab. Máq. Autom. Cont.	20	1.360,0	0	-	1.360,0	30	630,0
		5	Lab. Micro Eletrônica	16	1.088,0	0	-	1.088,0	24	504,0
		6	Copa	1	68,0	0	-	68,0	1	21,0
		7	Circulação: Corredor/Escada	13	884,0	2	68,0	952,0	21	441,0
		8	WC	1	68,0	2	68,0	136,0	3	63,0
	Pav. 1	1	Sala de Professores	12	816,0	0	-	816,0	18	378,0
		2	Sala Projetos Pós Graduação	16	1.088,0	0	-	1.088,0	24	504,0
		3	Lab. Modelag. Simul. Alto. Desemp.	15	1.020,0	0	-	1.020,0	22	462,0
		4	Sala dos Técnicos	4	272,0	0	-	272,0	6	126,0
		5	Depósito	2	136,0	0	-	136,0	3	63,0
		6	Lab. Telecomunicações	16	1.088,0	0	-	1.088,0	24	504,0
		7	Circulação: Corredor/Escada	13	884,0	2	68,0	952,0	21	441,0
		8	WC	1	68,0	2	68,0	136,0	3	63,0
TOTAL				154	10.472,0	8	272,0	10.744,0	236	4.956,0

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
10,74		5,788	53,87

Fig. 83 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Elétrica.

Localização	Sala	Ambiente	Sistema Atual					Sistema Proposto			
			2x32W		2x16W		Total [W]	1x21 LED			
			Quant.	Potência	Quant.	Potência		Quant.	Total [W]		
Lab. Eng. Civil	Térreo	1	Câmara Úmida	4	272	0	0	272	6	126	
		2	Almoxarifado de Materiais	1	68	0	0	68	1	21	
		3	Oficina Mecânica	6	408	0	0	408	9	189	
		4	Concretagem	0	0	0	0	0	0	0	
		5	Limpeza de Formas	4	272	0	0	272	6	126	
		6	WC Comum	1	68	0	0	68	1	21	
		7	Secagem de Materiais	8	544	0	0	544	12	252	
		8	Lab. Mat. Const. Civil e Ens. Mec.	16	1088	0	0	1088	24	504	
		9	Laboratório de Metrologia	0	0	0	0	0	0	0	
		10	Laboratório de Hidráulica	17	1156	0	0	1156	25	525	
		11	Sala dos Técnicos	2	136	0	0	136	3	63	
		12	Lab. de Solos e Pavimentação	20	1360	0	0	1360	30	630	
		13	Área de Equipamentos	2	136	0	0	136	3	63	
		14	Circulação: Corredor/Escada	13	884	3	102	986	23	483	
	15	WC	2	136	2	68	204	5	105		
	Pav. 1	1	Sala de Ensaio 1	3	204	0	0	204	4	84	
		2	Sala de Ensaio 2	2	136	0	0	136	3	63	
		3	Sala de Ensaio 3	4	272	0	0	272	6	126	
		4	Sala de Reuniões	2	136	0	0	136	3	63	
		5	Sala dos Técnicos 1	4	272	0	0	272	6	126	
		6	Circulação	1	68	0	0	68	1	21	
		7	Laboratório de Metrologia	32	2176	0	0	2176	48	1008	
		8	Laboratório de Química	13	884	0	0	884	19	399	
		9	Sala dos Técnicos 2	2	136	0	0	136	3	63	
		10	Laboratório de Física	11	748	0	0	748	16	336	
		11	Sala dos Técnicos 3	2	136	0	0	136	3	63	
		12	Sala dos Professores 1	6	408	0	0	408	9	189	
		13	Sala dos Professores 2	6	408	0	0	408	9	189	
	14	Sala dos Professores 3	6	408	0	0	408	9	189		
	15	Sala dos Professores 4	6	408	0	0	408	9	189		
	16	Circulação: Corredor/Escada	15	1020	2	68	1088	25	525		
	17	WC	1	68	2	68	136	4	84		
	TOTAL				212	14416	9	306	14722	325	6825

DEMANDA ATUAL		DEMANDA EVITADA	
kW		kW	%
14,72		7,897	53,64

Fig. 84 – Quadro comparativo entre a carga atual e a proposta para iluminação do Laboratório de Eng. Civil.

Os valores estimados para a demanda anual de energia, são calculados através da equação 3.2. Com isto, é possível projetar a redução total anual alcançada através do processo de atualização tecnológica no sistema de iluminação.

$$ConsumoAnual = \frac{CI \cdot H \cdot D \cdot M}{1000} [MWh] \quad (3.2)$$

onde:

- CI = Carga Instalada [kW];
- H = Número de horas diárias de uso;
- D = Número de dias mensais de uso;
- M = Número de meses no ano.

Especificamente para este trabalho, adotou-se um regime de utilização de 12 horas diárias, durante 22 dias por mês, ao longo de todos os 12 meses do ano, de forma análoga ao realizado por (KAEHLER, 2017).

Os equipamentos de iluminação necessários para as modificações propostas, são totalizados pelo quadro expresso na figura 85.

Prédio	Quantitativo Iluminação			
	21W LED	70W LED	7W LED	9W LED
Academico 1	317	0	0	0
Academico 2	459	0	0	0
Administrativo	337	12	0	0
Reitoria e Obras	86	0	4	6
Cantina	50	0	21	14
Casa Estudantes	47	0	0	164
Pav. Maq. Agric.	43	0	8	0
Lab. Eng. Mec.	74	16	5	6
PAMPATEC	272	16	0	0
NTIC	272	0	0	36
Lab. Eng. Eletr.	236	0	0	0
Lab. Eng. Civil	325	0	0	0
TOTAL	2518	44	38	226

Fig. 85 – Quantitativo para os equipamentos de iluminação necessários.

3.4.2 Demais Cargas

As demais cargas que seriam passíveis de estudo para redução de consumo, são basicamente os sistemas de Climatização para o campus em geral e de aquecimento hídrico para a Casa Estudantil. Porém estes não foram objeto de análise para atualização tecnológica no presente trabalho, por considerar que o estudo realizado em (KAEHLER, 2017) já contempla todas as medidas de efficientização cabíveis, sendo portanto utilizados os dados de climatização eficiente propostos no estudo.

Estudando o que é descrito por (KAEHLER, 2017) com relação ao sistema de climatização, a economia de energia anual alcançada com a adoção de equipamentos eficientes para este caso é de aproximados 169MWh. Percebe-se porém que a redução da demanda de energia anual decorrente da efficientização do sistema de climatização foi concebida considerando o uso extremo do sistema, com utilização de 12 horas diárias, em todos os dias úteis, 12 meses ao ano. Portanto este valor foi entendido como superdimensionado, uma vez que a utilização real do sistema é menor. Para tal, os cálculos de redução aqui considerados levaram em conta o uso extremo em apenas 6 meses do ano, período que engloba as estações da primavera e do verão.

No trabalho descrito por (KAEHLER, 2017), a demanda anual energética estimada para o Campus Alegrete (base para a projeção da mini geração distribuída), é feita

considerando os dados de faturamento de energia elétrica nos últimos 12 meses. A partir deste valor anual, dá-se o desconto da energia que seria economizada com os processos de adequação tecnológica propostos. Porém, estes dados de fatura excluem as cargas que ainda não estão em funcionamento mas são previstas para os prédios em construção no campus. Os prédios que encontram-se em fase de concepção são os Laboratórios das Eng. Elétrica e Civil, e também a Casa Estudantil.

De forma a retratar de maneira mais real a demanda energética do campus, o presente trabalho considera na demanda anual, a inclusão das cargas de climatização e iluminação das novas instalações.

Com base nisto, a figura 86 demonstra as reduções geradas com a eficiência do sistema, de acordo com (KAEHLER, 2017), considerando 12 ou 6 meses de uso. Como dito anteriormente, aqui adotar-se-á o valor referente a 6 meses de uso anual.

	Carga Evitada [kW]	Demanda Anual Evitada [MWh] [uso 6 meses]	Demanda Anual Evitada [MWh] [uso 12 meses]	Prédio
CLIMATIZAÇÃO	13,33	21,11	42,23	ACADEMICO 1
	13,76	21,80	43,59	ACADEMICO 2
	9,02	14,29	28,58	ADMINISTRATIVO
	0,12	0,19	0,38	REITORIA E OBRAS
	2,28	3,61	7,22	CANTINA
	0,64	1,01	2,03	PAV. MAQ. AGRÍCOLAS
	0,46	0,73	1,46	LAB. ENG. MECÂNICA
	5,04	7,98	15,97	PAMPATEC
	4,63	7,33	14,67	NTIC
	1,45	2,30	4,59	LAB. ENG. ELÉTRICA
	2,43	3,85	7,70	LAB. ENG. CIVIL
TOTAL	53,16	84,21	168,41	

Fig. 86 – Resumo da redução total obtida pela substituição dos aparelhos de ar condicionado.

Para chegar ao valor final de energia anual necessária para suprir o consumo do campus, fez-se através da equação 3.3.

$$Dem.Ener.Anual = (Cons.Faturas + Cons.Est.PrédiosNovos - Economia) + 10\% \quad (3.3)$$

Onde:

- Cons. Total Faturas - Consumo de energia anualizado, referente ao faturado nos últimos 12 meses pela concessionária

- Cons. Estimado Prédios Novos - É a carga instalada referente a climatização e iluminação, anualizada para consumos de 12horas diárias, 22 dias mensais, com utilização de 6 e 12 meses por ano, respectivamente.
- Reduções por Adequações Tecnológicas - É o valor referente a energia economizada no período de um ano em função das modificações de eficiência propostas.

De acordo com o exposto por (KAEHLER, 2017), para os prédios dos Laboratórios de Engenharia Elétrica e Civil, é prevista uma carga de aprox. 91,25kW em aparelhos condicionadores de ar, sendo que este foi então o valor adotado para os cálculos. Para iluminação, o somatório dos três prédios novos resulta em uma carga de 31,84kW.

A partir do valor de demanda anual de energia, acrescido de uma margem de crescimento de 10%, têm-se a necessidade energética de geração anual que a mini geração distribuída deverá suprir.

Os resultados obtidos e o valor final encontrado são expostos pela figura 87.

Demanda Anual Faturas [MWh]	602,12	
Dem. Anual Climat. Prédios novos [MWh]	144,54	
Dem. Anual Ilum. Prédios novos	100,87	
Dem. Evitada Anual Climat. Efici.	-84,21	
Dem Evitada Anual Ilum. Efici.	-222,79	
Demanda anual total [MWh]	540,53	MWh
Acréscimo 10% (margem crescimento)	594,59	MWh

Fig. 87 – Demanda Energética Total Final Anualizada considerando todos os prédios da Unipampa Alegrete.

3.5 Dimensionamento da Mini Geração Solar

Antes de quaisquer outros dados, para projetar-se um sistema de mini geração solar é preciso comprovação de que o local escolhido tem suficiente potencial energético para exploração, do contrário o projeto fica inviabilizado. Portanto, alguns dos dados climatológicos relacionados a Alegrete, disponibilizados pelos Anais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em (INMET, 2009), são representados pela figura 88.

Dados climatológicos para Alegrete (1961-1990)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	39,6	39,3	38,7	35,1	33,8	30,6	31,3	34,2	34,3	36,2	38,4	39,8	39,8
Temperatura máxima média (°C)	31,3	30,8	28,7	25,4	22,2	19,7	19,7	20,8	22,6	25,1	28	30,6	25,4
Temperatura média (°C)	24,7	24,4	22,3	18,7	15,8	13,7	13,7	14,6	16,5	18,9	21,5	24	19,1
Temperatura mínima média (°C)	19,1	19	17,3	13,7	11	9	9,1	10	11,6	13,5	15,5	17,9	13,9
Temperatura mínima absoluta (°C)	9,2	9,2	6,2	2,5	0,2	-4,1	-3,8	-2,5	0,2	2,1	4,6	7	-4,1
Precipitação (mm)	135	137,9	160,4	125,5	130,9	93,9	115,2	90,8	130,2	158,4	87,9	126,1	1 492,2
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	9	6	7	6	6	6	9	8	8	8	6	7	86
Umidade relativa (%)	68,6	71,8	75,3	77,1	79,6	80,6	79,7	75,8	73,7	71	67,2	65,1	73,8
Horas de sol Alegrete	273,4	247,1	232,8	207,5	196,3	155,1	164,7	185,2	186,6	239,9	276,1	296,4	2 661,1
Horas de Sol Médio Diário Por Mês	8,82	8,83	7,51	6,92	6,33	5,17	5,31	5,97	6,22	7,74	9,20	9,56	7,30
Dias do Mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ^{[10] [9] [12] [13] [14] [8] [15] [11] [16]}

Fig. 88 – Dados Climatológicos de Alegrete, segundo o INMET.

Ainda de acordo com (INMET, 2009), têm-se a média de irradiação solar Global, Inclinada e Direta, em cada período mensal, para Alegrete, exposta aqui através da figura 89

IRRADIAÇÃO SOLAR Alegrete - RS kWh/Dia/m ²			
Mês	Global	Inclinada	Direta
Janeiro	6,38	5,70	5,96
Fevereiro	5,88	6,02	5,21
Março	5,38	5,98	5,98
Abril	4,16	5,32	5,25
Mai	3,07	4,38	4,09
Junho	2,43	3,59	3,27
Julho	2,86	4,32	2,86
Agosto	4,11	5,48	5,63
Setembro	4,85	5,66	5,42
Outubro	4,90	5,05	4,24
Novembro	6,88	5,05	6,96
Dezembro	7,27	6,30	7,99
Média	4,85	5,24	5,24

Fig. 89 – Irradiação Solar média em Alegrete, segundo os anais do INMET.

Para uma melhor visualização, através dos dados da figura 89 é gerado o gráfico onde se demonstra o comportamento estatístico dos índices de irradiação ao longo do ano (INMET, 2009). Este gráfico é expresso através da figura 90.

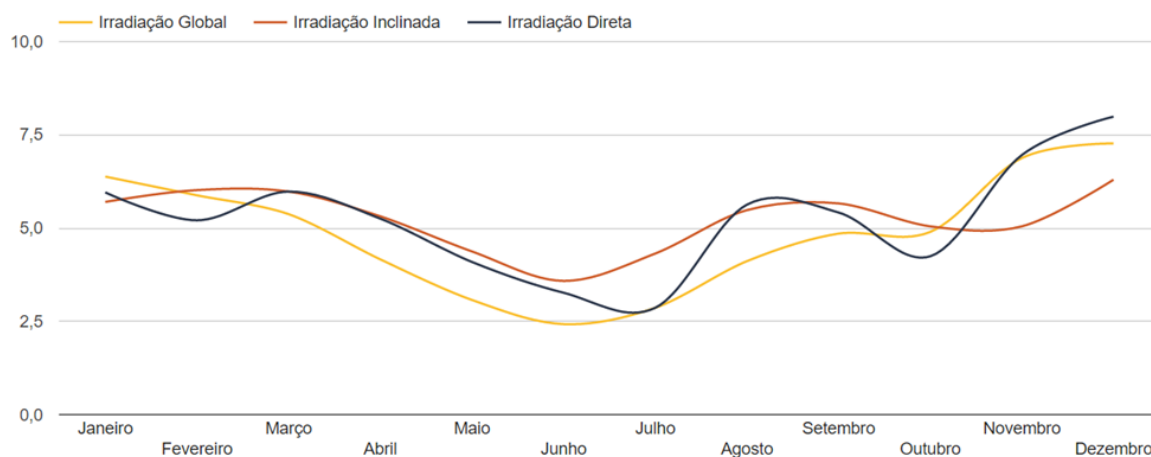


Fig. 90 – Gráfico da irradiação solar média, ao longo do ano [kWh/dia/m²].

Para complementar os dados supracitados, o (INMET, 2009) ainda ilustra um mapa nacional com a média do número de horas de insolação anual, aqui expresso pela figura 91.

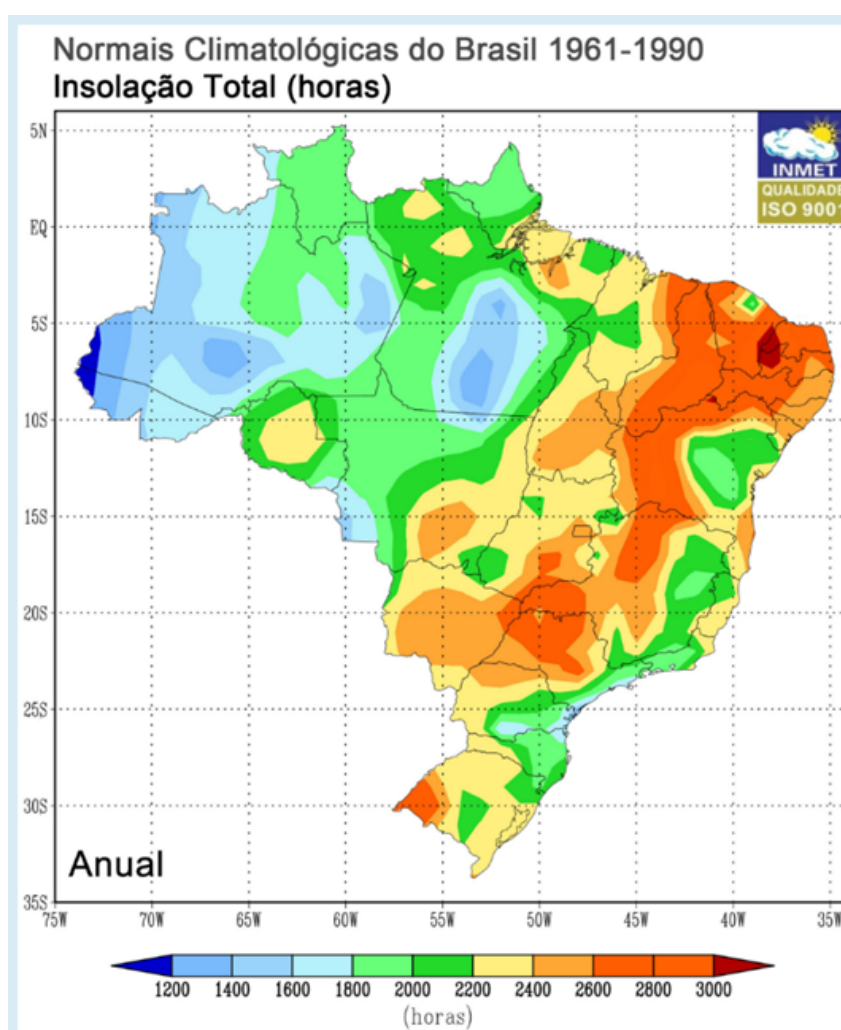


Fig. 91 – Número de horas de irradiação solar média, durante um ano.

Através da ferramenta online *SunEarthTools* citada anteriormente, foi traçada a carta solar para a localização da Unipampa em Alegrete (KAEHLER, 2017). Esta representação é ilustrada na figura 92.

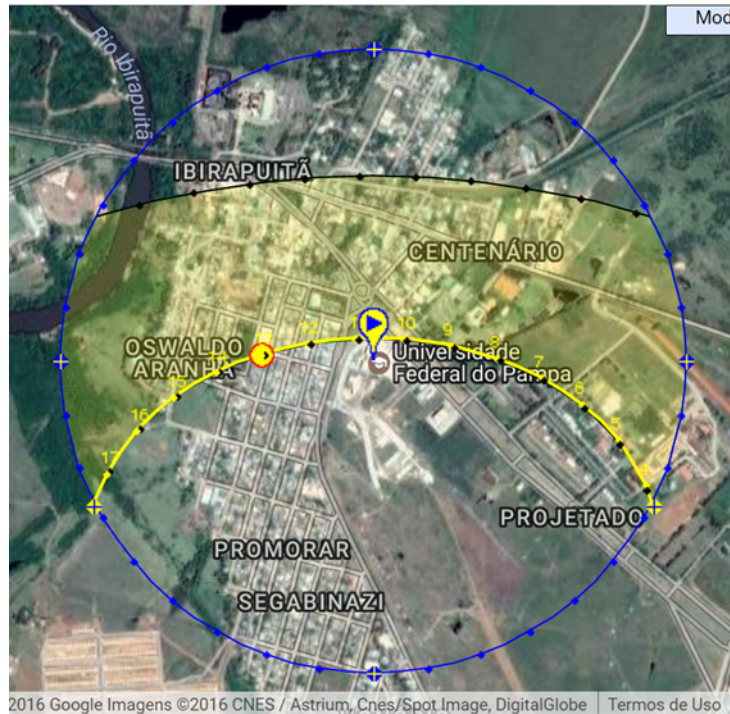


Fig. 92 – Carta Solar para Unipampa Alegrete.

O dimensionamento da mini geração foi realizado com o auxílio professor orientador. A Unipampa dispõe de planilhas em *software* Excel, as quais possuem modelos pré-definidos de instalações fotovoltaicas, variando sua capacidade de acordo com a necessidade energética.

Na planilha são considerados os dados de potencial solar específicos para Alegrete, sendo dados oficiais do INMET, o mais atualizado quanto possível. Estes dados são expressos pelo quadro da figura 93.

INMET	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Potencial de Energia Solar Útil [kWh/mês]	208.352,88	193.221,50	199.067,99	170.722,13	161.557,04	124.717,01	155.614,71
Energia Solar Potencial Mensal [kWh/mês]	28.022,45	25.987,35	26.773,67	22.961,29	21.728,63	16.773,83	20.929,42
Faturamento Potencial Mensal	20.612,88	19.115,89	19.694,30	16.889,97	15.983,25	12.338,57	15.395,36
Dias do Mês	31	28	31	30	31	30	31
Energia Solar Útil [kWh/dia/m2]	5,61	5,76	5,36	4,75	4,35	3,47	4,19

Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
169.356,35	176.832,18	199.810,78	228.947,36	234.721,96	2.222.921,87
22.777,60	23.783,07	26.873,58	30.792,30	31.568,96	298.972,15
16.754,85	17.494,46	19.767,79	22.650,34	23.221,64	219.919,29
31	30	31	30	31	30,42
4,56	4,92	5,38	6,37	6,32	5,09

Fig. 93 – Dados oficiais INMET considerados para determinar o Potencial Elétrico Solar em Alegrete.

De acordo com os dados planilhados acessados através da Unipampa Alegrete, para uma necessidade energética anual de aproximados 595MWh, recomenda-se a adoção do conjunto de painéis com geração instalada de 195kW cada, com capacidade para produzir 298,9MWh anuais. O emprego de dois destes sistemas operando em conjunto, resultaria em aproximados 600 MWh anuais, suprindo portanto toda a demanda energética do Campus Alegrete.

Para isto, devem ser consideradas as especificações da figura 94.

Potência de Placas	195	kW
Eficiência do Projeto Fotovoltaico (inferência padrão):	13%	%
Índice Solarimétrico Local	4,15	kWh/dia/m ²
Horas Médias de Insolação	7,3	horas
Energia Produzida Dia	191,42	kWh/dia
Energia Produzida Ano	298.972	kWh/ano
Tarifa Residencial Bandeira Média das Bandeiras	R\$ 735,58	R\$/MWh
Faturamento Anual	R\$ 219.919,29	R\$

Fig. 94 – Especificações Planilhadas para Instalação Fotovoltaica de 195kW.

Ainda de acordo com os dados planilhados, sabe-se que seriam necessárias 750 placas fotovoltaicas com 1,6m² de área cada. Considerando 2 conjuntos destes, temos a necessidade de 1500 placas, o que virá ocupar uma área total de aproximadamente 2400m² para os painéis.

4 RESULTADOS

Através do processo de adequação tecnológica do sistema de iluminação, buscou-se a redução do consumo energético. A seguir, a figura 95 expressa um quadro, no qual compara-se as demandas energéticas atuais com o que é proposto através da tecnologia LED. Neste quadro, os valores expressos como demanda anual de energia, são calculados através da equação 3.2.

Prédio	Demanda Atual [W]	Demanda Proposta	Evitado [%]
Acadêmico 1	14280,00	6657,00	53,4
Acadêmico 2	21080,00	9639,00	54,3
Administrativo	16892,00	7917,00	53,1
Reitoria e Obras	4314,00	1888,00	56,2
Cantina	3432,00	1323,00	61,5
Casa Estudante	6440,00	2463,00	61,8
Pav. Maq. Agrícolas	2148,00	959,00	55,4
Lab. Eng. Mec.	5824,00	2763,00	52,6
PampaTec	15464,00	6832,00	55,8
NTIC	13244,00	6036,00	54,4
Lab Eng. Elétrica	10744,00	4956,00	53,9
Lab. Eng. Civil	14722,00	6825,00	53,6
TOTAL [W]	128584,00	58258,00	
TOTAL [kW]	128,58	58,26	

Demanda anual [MWh]	407,35	184,56	
Demanda anual evitada[MWh]	222,79		54,69%

Fig. 95 – Resumo da redução total obtida comparando os sistemas atual e proposto.

Entretanto, julga-se interessante analisar também o resultado obtido por (KAEHLER, 2017) em comparação ao sistema atual, expresso pela figura 96, de forma que facilite exemplificar o quanto o sistema LED proposto pode gerar de redução quando comparado também ao estudo anterior realizado em (KAEHLER, 2017), esta relação é demonstrada pela figura 97.

Prédio	Demanda Atual [W]	Demanda Relatório Unipampa	Evitado [%]
Acadêmico 1	14280,00	9219,00	35,44
Acadêmico 2	21080,00	12474,00	40,83
Administrativo	16892,00	10388,00	38,50
Reitoria e Obras	4314,00	2376,00	44,92
Cantina	3432,00	1699,00	50,50
Casa Estudante	6440,00	2716,00	57,83
Pav. Maq. Agrícolas	2148,00	1189,00	44,65
Lab. Eng. Mec.	5824,00	3131,00	46,24
PampaTec	15464,00	8764,00	43,33
NTIC	13244,00	10080,00	23,89
Lab Eng. Elétrica	10744,00	6026,00	43,91
Lab. Eng. Civil	14722,00	8980,00	39,00
TOTAL	128584,00	77042,00	
TOTAL kW	128,58	77,04	

Demanda anual [MWh]	407,35	244,07	
Demanda anual evitada[MWh]	163,29		40,08%

Fig. 96 – Resumo da redução total obtida comparando estudo anterior com o sistema atual.

Prédio	Demanda Relatório Unipampa [W]	Demanda Proposta [W]	Evitado[%]
Acadêmico 1	9.219,0	6.657,0	28%
Acadêmico 2	12.474,0	9.639,0	23%
Administrativo	10.388,0	7.917,0	24%
Reitoria e Obras	2.376,0	1.888,0	21%
Cantina	1.699,0	1.323,0	22%
Casa Estudante	2.716,0	2.463,0	9%
Pav. Maq. Agrícolas	1.189,0	959,0	19%
Lab. Eng. Mec.	3.131,0	2.763,0	12%
PampaTec	8.764,0	6.832,0	22%
NTIC	10.080,0	6.036,0	40%
Lab Eng. Elétrica	6.026,0	4.956,0	18%
Lab. Eng. Civil	8.980,0	6.825,0	24%
TOTAL	77.042,0	58.258,0	
TOTAL kW	77,0	58,3	

Demanda anual [MWh]	244,07	184,56	
Demanda anual evitada[MWh]	59,51		24%

Fig. 97 – Resumo da redução total obtida comparando estudo anterior com o sistema proposto.

Para determinar os custos de implementação das modificações propostas, foi feita

pesquisa de mercado através da internet, buscando as especificações desejadas para os equipamentos, seja da marca estudada ou similar. Em relação a principal luminária empregada neste trabalho, de 21W LED tubular, houve dificuldade para encontrá-la no mercado nacional. Encontrou-se apenas no exterior a opção desejada especificamente, porém os custos de importação seriam muito altos, inviabilizando totalmente a escolha. Logo, para estudos de custos e viabilidade, considerou-se a compra de produtos de especificações similares a este, com um custo aproximado de 110 reais por luminária, com lâmpada inclusa. Para os demais modelos de lâmpadas empregadas, o mercado é vasto nacionalmente e estes foram facilmente cotados. O investimento total necessário para as modificações propostas, é expresso através da figura 98. Além dos custos com equipamentos, considerou-se ainda os valores complementares, referentes ao diagnóstico luminotécnico e energético realizado (15%), instalação dos equipamentos (10%) e supervisão dos serviços (10%), os percentuais supracitados são relativos ao custo total de cada equipamento.

Tipo Ilum.	Custo Unitário	Custo Total	Diag. Lumín. e Energ.	Instalação	Superv. Serviços	TOTAL GLOBAL
LED 9W	R\$ 9,00	R\$ 2.034,00	R\$ 305,10	R\$ 203,40	R\$ 203,40	R\$ 2.745,90
LED 7W	R\$ 8,00	R\$ 304,00	R\$ 45,60	R\$ 30,40	R\$ 30,40	R\$ 410,40
LED 70W	R\$ 250,00	R\$ 11.000,00	R\$ 1.650,00	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00	R\$ 14.850,00
LED 21W Tub.	R\$ 110,00	R\$ 276.980,00	R\$ 41.547,00	R\$ 27.698,00	R\$ 27.698,00	R\$ 373.923,00
TOTAL		R\$ 290.318,00	R\$ 43.547,70	R\$ 29.031,80	R\$ 29.031,80	R\$ 391.929,30

Fig. 98 – Custo de equipamentos e implantação para as modificações propostas em iluminação.

Os estudos de viabilidade econômica para todas as ações propostas foram realizados de acordo com o procedimento padrão da ANEEL, através do (ANEEL, 2013). Partindo do padrão supracitado, o sistema de iluminação proposto tem seu estudo de viabilidade econômica resumido através da figura 99.

Eficiência Energética na Iluminação das Salas de Aula UNIPAMPA			Enfoque Concessionária	
Vida útil (n)	15	Anos	Investimento Total:	391.930 R\$
Taxa de Desconto (i)	8%		Energia Economizada (EC):	222,8 MWh
CtUnitEnEcon A4 (CEE):	344,07	R\$/MWh	Redução Demanda Ponta (RP):	70,3 kW
CtUnitDemEvit A4 (CDE):	360,47	R\$/kW		
Fator de Carga Médio:	36%		Investimento anualizado:	45.789 R\$
Número Horas Ano:	3.168	Horas		
Fator de recuperação de Capital (FRC)	11,68%		Relação Custo / Benefício	0,45
Correção de Tarifa de A4 para BT	1,2		Investimento Evitado:	101.996 R\$
Índice de Perdas	4%			

Fig. 99 – Premissas adotadas e resultados obtidos para Viabilidade Econômica na iluminação.

Onde:

- CtUnitEnEcon A4 (CEE) = Custo Unitário para Energia Economizada [R\$/MWh], ou seja, o quanto a concessionária economiza em reais, para cada MWh de consumo evitado, ao longo de um ano, de acordo com os seus custos de fornecimento.
- CtUnitDemEvit A4 (CDE) = Custo Unitário para Demanda Evitada [R\$/kW], ou seja, o quanto é economizado pela concessionária para cada kW a menos na demanda instalada, anualmente, de acordo com os custos de fornecimento.

O tempo de vida útil considerado foi de 15 anos em função da durabilidade maior que a tecnologia empregada proporciona. Isto proporcionou uma relação custo benefício de maior atratividade, com valor 0,45.

Posteriormente, realizou-se o estudo de viabilidade unificando a iluminação com as demais cargas do campus. Isto foi feito através da união dos dados de modificações aqui propostas com os demais serviços estudados por (KAEHLER, 2017), especificamente a climatização geral do campus e o sistema aquecimento solar para a Casa do Estudante.

Porém, como a climatização teve seu uso considerado apenas para 6 meses anuais, os dados de viabilidade para este sistema alteraram-se, logo fez-se necessário um novo estudo para este sistema antes da unificação, assim sendo, tem-se o resultante exposto pela figura 100. Os valores determinados por (KAEHLER, 2017) para o aquecimento solar permanecem inalterados.

Eficiência Energética - Ar Condicionado UNIPAMPA - Alegrete

Vida útil (n)	30	Anos
Taxa de Desconto (i)	8%	
CtUnitEnEcon A4 (CEE):	344,07	R\$/MWh
CtUnitDemEvit A4 (CDE):	360,47	R\$/kW
Fator de Carga Médio:	18%	
NúmeroHorasAno:	1.584	Horas
fator de recuperação de Capital (FRC)	8,88%	
Correção de Tarifa de A4 para BT	1,2	
Índice de Perdas	4%	

Enfoque Concessionária	
Investimento Total:	713.206 R\$
Energia Economizada (EC):	84,2 MWh
Redução Demanda Ponta (RP):	59,3 kW
Investimento anualizado:	63.352 R\$
Relação Custo / Benefício	1,26
Investimento Evitado:	50.347 R\$

Fig. 100 – Viabilidade Econômica para o sistema de Climatização (Enfoque Concessionária).

A unificação da viabilidade para todas as modificações na carga geral do campus é então representada pela figura 101.

Eficiência Energética no Campus - UNIPAMPA

Vida útil (n)	10	Anos
Taxa de Desconto (i)	8%	
CtUnitEnEcon A4 (CEE):	344,07	R\$/MWh
CtUnitDemEvit A4 (CDE):	360,47	R\$/kW
Fator de Carga Médio:	36%	
NúmeroHorasAno:	3.168	Horas
Fator de recuperação de Capital (FRC)	14,90%	
Correção de Tarifa de A4 para BT	1,2	
Índice de Perdas	4%	

Enfoque Concessionária		
Investimento Total:	1.276.731	R\$
Energia Economizada (EC):	566,3	MWh
Redução Demanda Ponta (RP):	191,0	kW
Investimento anualizado:	190.270	R\$
Relação Custo / Benefício	0,72	
Investimento Evitado:	263.700	R\$

Fig. 101 – Viabilidade Econômica para todas as adequações energéticas no Campus - Alegrete (Enfoque Concessionária).

Para o sistema de mini geração adotado, a planilha retorna automaticamente o estudo de viabilidade econômica para a geração de 195kW, através dos custos globais para o conjunto, atualizados pelo mercado, não abertos para análise. Este estudo é demonstrado pela figura 102, sendo que este segue também o padrão definido por (ANEEL, 2013).

Fluxo de Caixa Projetos Energia Solar Fotovoltaica			
t	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado (t=0)	Saldo do Projeto (t=0)
0	-1.125.899,50	-1.125.899,50	-1.125.899,50
1	230.915,25	212.825,12	-913.074,38
2	242.461,02	205.959,79	-707.114,59
3	254.584,07	199.315,93	-507.798,66
4	267.313,27	192.886,38	-314.912,28
5	280.678,94	186.664,24	-128.248,04
6	294.712,88	180.642,81	52.394,78
7	309.448,53	174.815,63	227.210,40
8	324.920,95	169.176,41	396.386,82
9	341.167,00	163.719,11	560.105,93
10	358.225,35	158.437,85	718.543,77
11	376.136,62	153.326,95	871.870,72
12	394.943,45	148.380,92	1.020.251,64
13	414.690,62	143.594,44	1.163.846,08
14	435.425,15	138.962,36	1.302.808,44
15	457.196,41	134.479,70	1.437.288,14
16	480.056,23	130.141,65	1.567.429,79
17	504.059,04	125.943,53	1.693.373,32
18	529.261,99	121.880,83	1.815.254,15
19	555.725,09	117.949,20	1.933.203,35
20	583.511,35	114.144,38	2.047.347,73

Correção Tarifa Energia Elétrica	5%
Taxa de Desconto =	8,50%
VPL	
R\$	2.047.347,73
TIR	
	24,87%
Tempo de Retorno Atualizado	
	5,9 Anos

Fig. 102 – Viabilidade Econômica para Instalação Fotovoltaica de 195kW (Enfoque Cliente).

Na figura 102 obteve-se um tempo de retorno máximo estimado em 5,9 anos. Este resultado mostra-se interessante do ponto de vista econômico pois a vida útil da instalação é estimada em 25 anos. Logo, o projeto representa uma oportunidade de lucro real ao longo prazo, justificando o investimento.

Do ponto de vista da concessionária, o estudo de viabilidade econômica realizado é exposto pela figura 103, onde unifica-se os dois sistemas de 195kW em um maior de 390kW.

Energia Renovável no Campus Alegrete UNIPAMPA

Vida útil (n)		25 Anos		Enfoque Concessionária	
Taxa de Desconto (i)	8%			Investimento Total:	2.251.799 R\$
CtUnitEnEcon A4 (CEE):	344,07 R\$/MWh			Energia Economizada (EC):	600 MWh
CtUnitDemEvit A4 (CDE):	360,47 R\$/kW			Redução Demanda Ponta (RP):	390 kW
Fator de Carga Médio:	21%				
Número Horas Ano:	1.818 Horas			Investimento anualizado:	210.946 R\$
Fator de recuperação de Capital (FRC):	9,37%				
Correção de Tarifa de A4 para BT	1,2			Relação Custo / Benefício	0,61
Índice de Perdas	4%			Investimento Evitado:	347.025 R\$

Fig. 103 – Viabilidade Econômica para Instalação Fotovoltaica 2x195kW (Enfoque Concessionária).

Posteriormente, é realizado o cálculo para viabilidade global do projeto de mini geração, incluindo as alterações demonstradas anteriormente. Cruzando a viabilidade de todas as adequações realizadas com a implementação da geração, tem-se o resultado exposto pela figura 104

Eficiência Energética Global no Campus - UNIPAMPA

Enfoque Concessionária		15 Anos		Enfoque Concessionária	
Vida útil (n)	15 Anos			Investimento Total:	3.528.530 R\$
Taxa de Desconto (i)	8%			Energia Economizada (EC):	1.166 MWh
CtUnitEnEcon A4 (CEE):	344,07 R\$/MWh			Redução Demanda Ponta (RP):	581 kW
CtUnitDemEvit A4 (CDE):	360,47 R\$/kW				
Fator de Carga Médio:	36%			Investimento anualizado:	412.236 R\$
Número Horas Ano:	3.168 Horas				
Fator de recuperação de Capital (FRC)	11,68%			Relação Custo / Benefício	0,67
Correção de Tarifa de A4 para BT	1,2			Investimento Evitado:	610.725 R\$
Índice de Perdas	4%				

Fig. 104 – Viabilidade Econômica Global para Eficiência Energética no Campus - Alegrete (Enfoque Concessionária).

Quando o enfoque é pelo cliente, ou seja, para um aporte por parte do cliente, o estudo de viabilidade econômica considerando todas as medidas de eficiência adotadas juntamente com a mini geração solar, alcança os valores expressos pelo fluxo de caixa da figura 105.

Fluxo de Caixa Global para Eficiência Energética da Unipampa - Campus Alegrete

t	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado (t=0)	Saldo do Projeto (t=0)
0	-3.528.530,00	-3.528.530,00	-3.528.530,00
1	900.571,35	830.019,68	-2.698.510,32
2	945.599,92	803.244,85	-1.895.265,47
3	992.879,91	777.333,72	-1.117.931,75
4	1.042.523,91	752.258,44	-365.673,31
5	1.094.650,10	727.992,04	362.318,74
6	1.149.382,61	704.508,43	1.066.827,16
7	1.206.851,74	681.782,35	1.748.609,51
8	1.267.194,33	659.789,37	2.408.398,88
9	1.330.554,04	638.505,84	3.046.904,73
10	1.397.081,75	617.908,88	3.664.813,61
11	1.466.935,83	597.976,34	4.262.789,94
12	1.540.282,62	578.686,78	4.841.476,72
13	1.617.296,76	560.019,46	5.401.496,18
14	1.698.161,59	541.954,32	5.943.450,50
15	1.783.069,67	524.471,92	6.467.922,42
16	1.872.223,16	507.553,47	6.975.475,89
17	1.965.834,31	491.180,78	7.466.656,66
18	2.064.126,03	475.336,24	7.941.992,90
19	2.167.332,33	460.002,81	8.401.995,71
20	2.275.698,95	445.164,01	8.847.159,72

Correção Tarifa Energia Elétrica	5%
Taxa de Desconto =	8,50%
Valor Presente Líquido [VPL]	R\$ 8.847.159,72
Taxa Interna de Retorno [TIR]	30,18%
Tempo de Retorno Atualizado [em Anos]	4,60

Fig. 105 – Viabilidade Econômica Global para Eficiência Energética na Unipampa - Alegrete (Enfoque Cliente).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do custo ainda elevado, a tecnologia LED mostrou-se muito atrativa no que tange a eficiência energética. Apesar do grande aumento no número de equipamentos, o consumo alcançou uma redução anual de 222,79MWh ou 54,69%, quando comparado ao sistema atual. Paralelo a isto, quando toma-se como referência o trabalho utilizado como guia, obteve-se uma redução de 24%, ou seja, a economia decorrente do processo de atualização tecnológica mostrou-se bastante interessante e vantajosa. Cabe ressaltar a relevância do *Software* DIALux no processo de estudos da tecnologia LED, pois através deste foi possível comprovar o potencial existente para a economia energética. Ferramentas como esta mostram-se cada vez mais essenciais para que resultados melhores e mais confiáveis sejam alcançados.

Pode-se dizer que a economia anual obtida em iluminação compensou quase que na totalidade o consumo adicional referente ao prédios em construção. A carga para os prédios em construção representa um aumento no gasto anual de ao menos 245MWh, porém destes, aproximadamente 90% são compensados através da iluminação eficiente, proporcionando uma necessidade de geração solar menor para suprir a demanda geral do campus.

Para o sistema de climatização, o regime de utilização considerado explica a menor atratividade para o investimento, porém, quando considerado o investimento global, tem-se essa questão amenizada, tornando-o viável.

Em resumo, os processos de melhorias em eficiência energética, aliados a implantação da mini geração solar fotovoltaica, constituem uma boa oportunidade de investimento e economia a médio e longo prazo, seja com aporte da concessionária ou do cliente, ambos viáveis.

Para estudos futuros acredita-se que seria interessante aprofundar a análise das demais cargas presentes no campus, especificando por exemplo, cargas não lineares como microcomputadores, equipamentos amplamente utilizados na Unipampa Alegrete, buscando desenhar um padrão de utilização e funcionamento, corrigindo o possível para evitar maiores distorções provocadas no sistema. Outro ponto a ser estudado é a climatização, realizando um estudo sobre a utilização real dos equipamentos pelos usuários, determinando os períodos de maior e menor uso, horários de uso ininterrupto. A realização de medições de campo para alguns destes equipamentos (os de maior incidência) seria relevante para estimar o gasto real, considerando que o compressor não é acionado em 100% do tempo de uso e há uma corrente elevada a cada partida (sistema atual), o monitoramento durante determinado período pode ser um bom parâmetro para expandir-se o consumo da climatização para todo o campus, representando mais fielmente esta parte do potencial de economia energética.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Procedimentos do programa de eficiencia energetica - propee. **PROPEE**, 2013.
- ANEEL. Caderno tematico aneel. micro e minigeracao distribuida. **Edicao 2**, 2016.
- ANEEL, A. Atlas de energia elétrica do brasil. **Brasília**, 2008.
- BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. [S.l.]: Edgard Blucher, 2009.
- BORNE, L. S. Eficiência energética em instalações elétricas. 2010.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L.; MONSSEN, F. **Electronic devices and circuit theory**. [S.l.]: Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 2002. v. 11.
- BRAGA, R. P. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações. 2008, 67 f. **Monografia (Curso de Energia Elétrica)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2008.
- COPETTI, G. L. Z. Eficiência energética em ambientes de ensino. **Trabalho de Conclusão de Curso, Unipampa - Alegrete**, 2013.
- COSTA, G. J. C. da. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. [S.l.]: EDIPUCRS, 2006. v. 5.
- EFFICIENCY, C. E. Saving energy with efficient lighting in commercial buildings. **CADDET Maxi Brochure**, v. 1, p. 5, 1995.
- ENERGÉTICA, E.-E. de P. **Balanco Energético Nacional–Relatório Síntese ano base 2014**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2015.
- EPE, E. d. P. E. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. 2014.
- FERREIRA, R. A. F. Manual de luminotécnica. **Juiz de Fora**, 2010.
- FILHO, P. M. C. T. Estudos da viabilidade econômica da micro e minigeração fotovoltaica à luz da resolução normativa nº 482 da aneel. 2015.
- FOWLER, M. The photoelectric effect. **The Photoelectric Effect**, 1997.
- INFORME, C. C. **Atlas Solarimétrico do Brasil. 2000**. 2008.
- INMET. **Normais climatológicas 1961-1990**. [S.l.]: Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, 2009.
- ISO, N. Cie 8995-1. **Rio de Janeiro, ABNT**, 2013.
- JOÃO, P. E. T. V. Análise técnico-econômica de uma minigeração fotovoltaica em um galpão logístico em contagem-mg. 2016.
- JÚNIOR, W. A. D.; WINDMOLLER, C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. **Revista Química Nova na Escola**, n. 28, 2008.
- KAEHLER, J. M. Eficiencia energetica e minigeracao no campus alegrete. **PRO REITORIA DE PLANEJAMENTO. E INFRAESTRUTURA- UNIPAMPA, 2017**, 2017.

- KUHN, R. L. Rastreamento diário e anual dos níveis máximos de radiação solar para otimização da produção fotovoltaica. **Trabalho de Conclusão de Curso, Unipampa - Alegrete**, 2013.
- LOPES, S. B. Eficiência energética em sistemas de iluminação pública. 2002.
- LUNARDI, N. d. O. Eficiência energética: Iluminação de interiores em ambiente de trabalho. **Trabalho de Conclusão de Curso, Unipampa - Alegrete**, 2014.
- NBR, A. 5413. **Iluminância de interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1992.
- PARIZOTTO, E. Luz e cor nos ambientes de trabalho. **UNICAMP. São Paulo**, 2001.
- PROCEL, E. Programa nacional de conservação de energia elétrica. **Resultados do PROCEL**, 2007.
- REA, M. S. Illuminating engineering society of north america. **The IESNA lighting handbook**, 2000.
- SALES, R. P. Led, o novo paradigma da iluminação pública. 2011.
- SANTOS, P. A. dos. Impactos e efeitos no planejamento integrado de recursos (pir) de micro e minigeração distribuída. **Smart Energy**, 2016.
- SILVA, F. C. da et al. Qualidade de energia elétrica das lâmpadas fluorescentes tubulares e tubulares a led.
- VASCONCELLOS, L.; LIMBERGER, M. Iluminação eficiente: Iniciativas da eletrobras procel e parceiros. **Rio de Janeiro: Eletrobras**, 2013.
- VIEIRA, L.; LARA, V.; AMARAL, D. Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 3505, 2014.
- WALKER, H. R. et al. Fundamentos de física. **São Paulo: LTC**, 2002.
- XAVIER, P. A. C. Avaliação das características elétricas de reatores eletrônicos utilizados em lâmpadas fluorescentes tubulares. 2005.
- YOSHIDA, F. T.; PORTELINHA, R. K. **Estudo de um sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia a LED no bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-câmpus Curitiba**. Dissertação — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.