

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MILTON BATISTA FONTES
WLADIMIR DUARTE ORTIZ**

**PROPOSTA DE ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE
FÁBRICA METALÚRGICA DE ACORDO COM A NORMA
NBR ISO/CIE 8995-1/2013**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

**MILTON BATISTA FONTES
WLADIMIR DUARTE ORTIZ**

**PROPOSTA DE ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE
FÁBRICA METALÚRGICA DE ACORDO COM A NORMA
NBR ISO/CIE 8995-1/2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Departamento de Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Mezzadri

PONTA GROSSA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE FÁBRICA METALÚRGICA DE ACORDO COM A NORMA NBR ISO/CIE 8995-1/2013

por

MILTON BATISTA FONTES

e

WLADIMIR DUARTE ORTIZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Felipe Mezzadri
Orientador

Prof. MSc. Jeferson José Gomes
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Sergio Okida
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

A minha esposa que sempre me apoiou, nunca duvidou de minha capacidade e me auxiliou durante as dificuldades no decorrer de minha acadêmica.

Aos meus filhos que são tudo na minha vida.

Agradeço aos meus pais por me apoiarem em todas as metas que estabeleci.

Agradeço ao amigo e professor Felipe Mezzadri por todas as instruções e suporte acadêmico.

Aos amigos e colegas de trabalho por toda complacência disponibilizada para a realização deste.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra participaram de minha vida nesses anos de curso.

Milton Batista Fontes

Amigos estudantes, professores, e conhecidos de longa data que me apoiaram até aqui, seja me auxiliando nos estudos ou me ajudando a ficar calmo em momentos difíceis, sem vocês eu teria parado na metade do caminho.

Muito obrigado.

Wladimir Duarte Ortiz

RESUMO

FONTES, Milton Batista; ORTIZ, Wladimir Duarte. **Proposta de atualização do sistema de iluminação de fábrica metalúrgica de acordo com a norma NBR ISSO/CIE 8995-1/2013**. 2019. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Este estudo tem por base a verificação e a adequação das condições de iluminamento de uma fábrica metalúrgica utilizando a norma NBR ISO/CIE 8995-1/2013 como referência. Esta norma define a iluminância média mínima para cada ambiente conforme a atividade realizada no local. Para a análise do ambiente fabril foram registrados os níveis de iluminância em diferentes locais ao longo da linha de produção e registrada a insuficiência luminosa na mesma. Foram efetuados cálculos de projeto luminotécnico baseado no método de lúmens, que descreve a quantidade mínimas de luminárias para que o ambiente seja corretamente iluminado conforme a nota referência, identificando a deficiência luminosa do local. Foi proposta a melhoria do rendimento energético da fábrica através da substituição das lâmpadas atuais, de vapor de sódio, por lâmpadas novas de LED, que possuem um rendimento energético superior. A análise da vantagem do investimento foi possível prever de acordo com o cálculo do tempo de *payback* comparado com o tempo de vida útil das luminárias LED selecionadas. Os resultados são promissores, provando a viabilidade do projeto.

Palavras-chave: Luminotécnica; Eficiência energética; *Payback*.

ABSTRACT

FONTES, Milton Batista; ORTIZ, Wladimir Duarte. **Proposed upgrade of the metallurgical plant lighting system in accordance with NBR ISO/CIE 8995-1/2013.** 2019. 55p. Final Coursework (Bachelor's Degree in Electrical engineering) – Federal University of Technology – Paraná. Ponta Grossa, 2019.

This study was based on the verification and adequacy of the lighting conditions of a metallurgical plant, using as reference NBR ISO/CIE 8995-1/2013. This standard defines the minimum average illumination for each environment according to the activity performed on site. For the analysis of the factory environment, the lighting levels were recorded at different locations along the production line and the insufficient light in the same area. Light engineering design calculations were performed using the lumen method, which describes the minimum number of luminaires for the room to be adequately illuminated, according to the reference note that identifies the light deficiency of the room. It has been proposed to improve the plant's energy efficiency by replacing current sodium vapor lamps with new, more energy efficient LED lamps. It was possible to predict the investment advantage analysis according to the *payback* calculation compared to the useful life of the selected LED luminaires. The results are promising, proving the viability of the project.

Keywords: Luminotechnology; Energy efficiency; *Payback*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Iluminância e iluminância.....	17
Figura 2 - Superfície aparente e superfície iluminada.....	17
Figura 3 - Demonstração iluminância.....	19
Figura 4 - Diagrama de fluxo de caixa.....	25
Figura 5 - Leiaute da fábrica antes da mudança.....	31
Figura 6 - Leiaute da fábrica após a mudança.....	32
Figura 7 - Distribuição atual das luminárias.....	34
Figura 8 - Luxímetro Instrutherm THDL-400.....	36
Figura 9- Pontos de coletas dos dados.....	36
Figura 10 - Ambiente de trabalho do Dialux EVO 8.1.....	40
Figura 11 - Dados da luminária escolhida.....	40
Figura 12 – Distribuição das luminárias e diagrama de iluminância.....	41
Figura 13 - Distribuição dos diagramas de iluminância.....	42
Figura 14 - Tempo de retorno do investimento.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Valores Lux e URGL para trabalhos em ferro e aço definida pela ABNT.	20
Tabela 2 - Iluminância por entorno imediato.	20
Tabela 3 - Ângulo de corte pela luminância da lâmpada.	21
Tabela 4 - Aparência da cor em relação à sua temperatura.	23
Tabela 5 - Fator de manutenção.	24
Tabela 6 - Dimensões atuais da fábrica.	30
Tabela 7 - Luminárias atuais.	34
Tabela 8 - Valores totais de todos os dados médios coletados.	37
Tabela 9 - Dados econômicos atuais	44
Tabela 10 - Custos por luminária	44
Tabela 11 - Economia por tonelada de produção.	45
Tabela 12 - Valor tarifário contratado	45
Tabela 13 - Características das luminárias para comparação	46
Tabela 14 - Investimento por luminária	47
Tabela 15 - Consumo por luminária	47
Tabela 16 - <i>Payback</i> por luminária	47
Tabela 17 - Horas de uso até <i>payback</i> .	48
Tabela 18 -- Índice Local	52
Tabela 19 - Coeficiente de utilização	53

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	<i>International organization for standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LED	<i>Light emitting diode</i> (Diodo emissor de luz)
NBR	Normas Brasileiras
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica
TCP	Temperaturas de cor correlata
UGR	<i>Unified glare rating</i> (Índice de ofuscamento unificado)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA	13
1.2	HIPÓTESE	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	JUSTIFICATIVA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	AMBIENTE LUMINOSO	16
2.2	DISTRIBUIÇÃO DA LUMINÂNCIA	17
2.3	ILUMINÂNCIA	18
2.3.1	Iluminâncias no entorno imediato	20
2.4	OFUSCAMENTO	20
2.5	DIRECIONALIDADE	22
2.6	ASPECTOS DA COR	22
2.7	LUZ NATURAL	23
2.8	MANUTENÇÃO	23
2.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE ENERGIA	24
2.10	LÂMPADAS LED	24
2.11	<i>Software Dialux:</i>	24
2.12	<i>Payback</i>	25
3	METODOLOGIA	26
3.1	CARACTERÍSTICAS DA FÁBRICA	26
3.2	PROJETO LUMINOTÉCNICO	26
3.3	SIMULAÇÃO UTILIZANDO <i>SOFTWARE DIALUX EVO</i>	28
3.4	VERIFICAÇÃO DO RETORNO DE INVESTIMENTO	28
4	DESENVOLVIMENTO	29
4.1	CARACTERÍSTICAS DA FÁBRICA	29
4.1.1	Análise da fábrica	29
4.1.2	Análise da fábrica	29
4.1.3	Norma de definição de níveis de iluminamento	35
4.1.4	Fotometria	35
4.2	PROJETO LUMINOTÉCNICO	37
4.2.1	Cálculo de iluminação geral (Método das eficiências)	37
4.3	SIMULAÇÃO EM <i>SOFTWARE</i>	39
4.3.1	Análise dos ambientes	43
4.4	DADOS ECONÔMICOS	44
4.4.1	Tempo de retorno de investimento (<i>payback</i>):	45

4.5	VERIFICAÇÃO COM OUTRAS LUMINÁRIAS	46
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	50
	ANEXO A – LUMINÁRIA USADA	51
	ANEXO B – ÍNDICE LOCAL USADO.....	52
	ANEXO C – COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO USADO	53
	ANEXO D – NOTA TÉCNICA Nº224/2014	54

1 INTRODUÇÃO

A luz é de fundamental importância para a realização dos trabalhos manuais e desde os primórdios da humanidade o homem buscou formas de condicionar a luz para realização de suas atividades, foi um caminho longo desde a tocha pré-histórica até a lâmpada como conhecemos hoje. De certo modo, apenas verificando o tempo em que o homem começou a dominar a luz (tocha pré-histórica) até o surgimento da primeira lâmpada elétrica, em 1878, conseguimos um espaço de tempo de milhares de anos. Analisando esse espaço de tempo percebemos que os trabalhos manuais, ditos artesanais, predominavam, e o cuidado com a iluminação do ambiente dava-se apenas ao artesão que nele se encontrava. Provavelmente este artesão utilizava o dia para a realização de suas atividades e, por ventura, o início da noite na posse de velas, luminárias a óleo, candela, fogueira ou lampião a gás.

Com o surgimento das revoluções industriais, junto com os seus maquinários e linhas de produção, os ambientes de trabalho foram ficando cada vez maiores, algo que demandou uma quantidade cada vez maior de iluminação e, conseqüentemente para a época, de eletricidade. Com maquinários pesados e horas de trabalho contínuas, o consumo elétrico industrial começou a se tornar uma preocupação, levando a estudos de eficiência energética que também abrangessem a iluminação.

Sabe-se que é de fundamental importância que o ambiente de trabalho seja bem iluminado para que o foco do funcionário esteja direcionado a sua atividade. Segundo KANDEL (2009) a capacidade do cérebro de processar a informação sensorial é mais limitada do que a capacidade de seus receptores para mensurar o ambiente. Diz também que a atenção funciona como um filtro, selecionando alguns objetos para processamento adicional. Se o ambiente for pouco estimulante visualmente, ou seja, possuir uma baixa eficiência luminosa, a atenção do funcionário será reduzida, comprometendo seu desempenho com o trabalho e podendo causar acidentes no ambiente de trabalho. Segundo ALMEIDA (2003) conclui que existe a necessidade da compatibilidade da luz artificial com a cor da pintura do ambiente para que a reprodução das cores seja a mais próxima possível do real, e cita também que pode-se melhorar o aproveitamento da luz reduzindo o consumo de energia sem perder a qualidade e o conforto do ambiente, aumentando assim a produtividade do funcionário.

Para que se exista uma padronização utiliza-se, para verificação dos níveis de iluminância, a norma NBR 5413 que atenta para valores de iluminância médias mínimas para serviços com iluminação artificial. E para o planejamento do projeto luminotécnico, utiliza-se a NBR ISSO CIE 8995-1 que propõe valores mínimos em Lux de iluminância para que cada atividade seja exercida de forma segura, proporcionando um ambiente de trabalho favorável. O que define esse procedimento é a NR 17/2014, do Ministério do Trabalho.

Na revisão bibliográfica são apresentados conceitos necessários para o entendimento da proposta como um todo, são tratados conceitos de distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento, direcionalidade da Luz, os aspectos da cor da luz e superfícies, luz natural e manutenção. Na sequência serão explanados os métodos utilizados e o porquê da necessidade de se analisar o ambiente com o método das cavidades zonais. Seguindo o desenvolvimento apresenta todo o estudo realizado e a aplicação dos métodos escolhidos além de apresentar os dados de simulação em *software* e finalizando será discutida e analisada a proposta de *payback*.

1.1 PROBLEMA

Após uma mudança na disposição dos maquinários no ambiente fabril estudado, não foi realizado um estudo luminotécnico adequado para assegurar que os níveis de iluminância estivessem de acordo com as regras normativas. E para se melhorar a eficiência energética da fábrica, também há a necessidade de um estudo que proponha a substituição de luminárias de vapor de sódio por luminárias com uma maior eficiência.

1.2 HIPÓTESE

Os níveis ideais de iluminância no ambiente fabril proposto serão redefinidos através da técnica do cálculo de lumens, de acordo com os valores referenciados na NBR ISO/CIE 8995-1/2013. Com o estudo será realizado o projeto de trocas de lâmpadas de vapor de sódio atuais, por lâmpadas LED com melhor rendimento, visando economia nos custos energéticos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar a avaliação luminotécnica de um bloco fabril em uma indústria metalúrgica da região de Ponta Grossa. A realização desta avaliação nos permite verificar como está a condição do iluminamento de cada área de trabalho do bloco fabril e se esta condição pode ser melhorada, além disso pode-se verificar se existe a possibilidade de redução das despesas com eletricidade.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificação e readequação dos níveis de iluminância de acordo com as normas brasileiras;
- Realização dos cálculos para verificação da quantidade de luminárias para o projeto de iluminação;
- Realizar projeto luminotécnico na fábrica;
- Utilização de *software* específico, considerando as áreas de tarefa;
- Evitar uma quantidade excessiva de luz que possa gerar desconforto visual;
- Obter melhor eficiência energética reduzindo os gastos de energia elétrica.

1.4 JUSTIFICATIVA

Sendo o foco de estudo uma fábrica metalúrgica que sofreu mudança de leiaute, fica evidente a necessidade de adequação do projeto luminotécnico com base em norma para que se reduzam os desconfortos visuais, riscos de acidentes, e gastos desnecessários. Um ambiente com a iluminação adequada evita desperdícios energéticos, e proporciona ao funcionário bem-estar, conforto visual e melhor percepção de riscos, evitando acidentes. Posto que o custo da energia elétrica tem influência direta com o custo do produto, e que as lâmpadas atuais são de vapor de sódio, tem-se a necessidade de verificar a disponibilidade de lâmpadas LED, acessíveis financeiramente, que atualmente são mais eficientes se comparadas com as lâmpadas de vapor de sódio.

Com base nos fatores acima, fica claro a necessidade de adequação do projeto luminotécnico para que se tenha uma melhor eficiência energética e um ambiente de trabalho favorável.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é apresentado em cinco capítulos, sendo este o primeiro capítulo contemplando a introdução com a justificativa, problema e objetivos.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica realizada em torno da NBR ISO/CIE 8995-1/2013, apresentando conceitos que são a base para a compreensão do projeto. Também é apresentado o *software* utilizado para as simulações e a ferramenta de retorno do investimento.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto, qual embasou o método de verificação das características da fábrica.

Já no quarto capítulo está o desenvolvimento, com a análise da fábrica indicando como a medição foi realizada nos locais de trabalho. Também é apresentado o projeto luminotécnico, que indica o total de luminárias a serem usadas. Ainda no quarto capítulo é relatada a simulação com *software* e o estudo de dados econômicos.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica baseia-se de conceitos para definição de projeto luminotécnico com base na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:13. Os conceitos apresentados tendem a facilitar o entendimento para a sequência do estudo.

2.1 AMBIENTE LUMINOSO

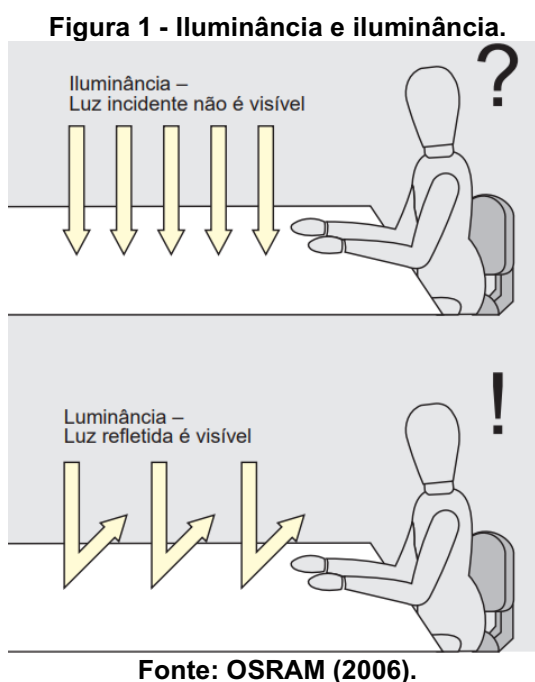
O ambiente luminoso adequado no local de trabalho é essencial para que as tarefas sejam realizadas de forma fácil e com o menor esforço visual possível, ou seja, proporcionando um ambiente salubre. Dessa forma a distribuição das luminárias no setor de trabalho deve ser estudada e analisada a fim de proporcionar ao funcionário a possibilidade de promover o seu melhor desempenho visual possível assegurando que ele consiga, mesmo trabalhando em circunstâncias difíceis, realizar sua tarefa por todo o tempo do seu expediente sem cansaço visual. Dessa forma, com o ambiente bem dimensionado, o funcionário tem uma melhor percepção do que está acontecendo ao seu redor e com isso reduzir as chances de acidente. Um bom projeto luminotécnico deve considerar:

- Distribuição da luminância,
- Iluminância,
- Ofuscamento,
- Direcionalidade da luz,
- Aspectos da cor da luz e superfícies,
- Luz natural,
- Manutenção.

De modo geral não somente o condicionamento luminoso do local serve para garantir um bom desempenho visual do funcionário, fatores ergonômicos como tamanho, forma, posição, cor e refletância do detalhe e do fundo contribuem para o melhor desempenho visual, da mesma forma que a capacidade oftálmica do operador. Dessa forma verifica-se a necessidade de atentar para a idade do operador que realizará a atividade.

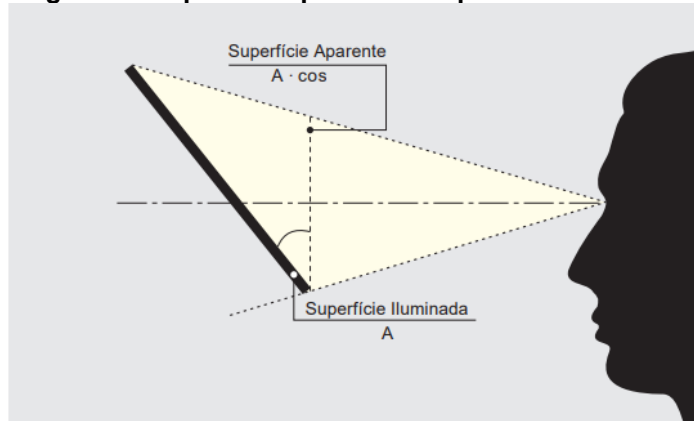
2.2 DISTRIBUIÇÃO DA LUMINÂNCIA

Para que se possa entender o que é a distribuição da luminância é preciso inicialmente entender o que são iluminância e luminância. Como ilustrado na Figura 1 a iluminância é a luz incidente, como quando uma luz que incide em uma mesa de trabalho, já a luminância é a luz refletida que é visível, a qual nos dá a sensação de claridade.



Essa sensação de claridade está relacionada com a intensidade luminosa que sai de uma superfície e é perceptível pela sua superfície aparente, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Superfície aparente e superfície iluminada.



A equação que permite a determinação da iluminância é:

$$L = \left(\frac{I}{A * \cos(\alpha)} \right) \quad (1)$$

onde: L = Luminância, em candela/m²; I = Intensidade Luminosa, em candela; A = área projetada, em m², e; α = ângulo considerado, em graus.

Contudo existe a dificuldade de medir-se a Intensidade Luminosa de um corpo não radiante (através de reflexão), com isso recorre-se para outra fórmula:

$$L = \left(\frac{\rho * E}{\pi} \right) \quad (2)$$

onde: ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão, e; E = Iluminância sobre essa superfície.

Cada superfície e objeto tem sua peculiaridade, verifica-se com isso que uma mesma iluminância pode originar luminâncias diferentes.

As análises de todas as superfícies são importantes para a realização do estudo devido a refletância e iluminância envolvidas no ambiente estudado, com isso verifica-se as faixas de refletância mais importantes segundo a norma aplicada no estudo:

- Teto: 60 – 90 %;
- Paredes: 30 – 80 %;
- Planos de trabalho: 20 – 60 %, e;
- Piso: 10 – 50 %.

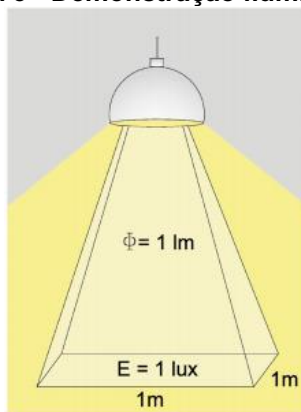
2.3 ILUMINÂNCIA

Segundo o manual de iluminação da PROCEL (RODRIGUES; PIERRE, 2002) a iluminância é a incidência por unidade de área dado em metros quadrados (m²) de unidade fluxo luminoso dados em lúmen (lm), como ilustrado na Figura 3 sua unidade é Lux.

$$E = \left(\frac{\phi}{A} \right) = 1lux \quad (3)$$

Onde:

Figura 3 - Demonstração iluminância.



Fonte: PROCEL (2011)

A distribuição da iluminância nas áreas de trabalho e no seu entorno impacta diretamente na forma com que a pessoa realiza uma determinada atividade, um ambiente com valores adequados de iluminância proporcionam uma tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. Contudo a área de realização da atividade nem sempre é uma área específica, sendo assim deve-se admitir como área de realização da tarefa toda a área onde ela pode ocorrer. Em um ambiente fabril o funcionário muitas vezes realiza diversas atividades no setor sendo que as alturas do plano de trabalho podem variar significativamente. Sendo assim ao realizar a análise de um ambiente de determinada atividade com a ajuda de um luxímetro, verifica-se que o fluxo luminoso não é uniforme em todo o ambiente, com isso define-se um valor médio para a iluminância originando o E_m . Assim a norma define a quantidade de iluminância média de cada atividade. Como o estudo é referente a uma indústria metalúrgica verifica-se na Tabela 1, (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores para trabalho e processamento em metal.

A norma indica que os valores apresentados na Tabela 1 são iluminâncias mantidas sobre a área da tarefa no plano de referência que pode ser horizontal, vertical ou inclinado. E indica que os valores não devem estar abaixo dos valores indicados, independentemente da idade ou das condições de instalação, cita que são levados os seguintes fatores:

- — Requisitos para a tarefa visual;
- — Segurança;
- — Conforto visual e bem-estar;
- — Economia;
- — Experiência prática.

Tabela 1 - Valores Lux e URGL para trabalhos em ferro e aço definida pela ABNT.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	E_m/lux	UGR _L	R _a	Observações
Instalações de produção sem intervenção manual	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Instalações de produção com operação manual ocasional	150	28	40	
Instalações de produção com operação manual contínua	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Depósito de chapas	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Fornos	200	25	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Usinagem, bobinadeira, linha de corte	300	25	40	
Plataformas de controle, painéis de controle	300	22	80	
Ensaio, medição e inspeção	500	22	80	
Túneis do tamanho de um homem sob o pis, porões etc.	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

2.3.1 Iluminâncias no entorno imediato

A iluminância define valores para que exista a distribuição harmoniosa da luminância, isso devido ao fato de que mudanças significativas de iluminância podem causar diversos incômodos e estresse visual, sendo assim apresenta-se a Tabela 2 para entornos imediatos:

Tabela 2 - Iluminância por entorno imediato.

Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

Para que a diferença de iluminâncias não seja muito significativa define-se a razão entre o valor mínimo e o valor máximo, gerando a uniformidade que faz com que a iluminância se altere gradativamente. São estipulados valores mínimos de 0,7 para a iluminância na tarefa e mínimo de 0,5 para o seu entorno imediato.

2.4 OFUSCAMENTO

O ofuscamento origina-se principalmente quando ocorre a transição de uma área com iluminância baixa para uma área com iluminância excessivamente alta.

Nota-se essa sensação quando ao se deparar com um carro na estrada esse emite a luz alta, caso o carro apenas emita a luz alta e logo a deslize ocorre o ofuscamento desconfortável, já se ele permanece com a luz alta existe o ofuscamento inabilitador. O ofuscamento também pode ser originado pelo reflexo em superfícies, a esse dá-se o nome de reflexões veladoras ou ofuscamento refletido (PROCEL, 2011).

Na indústria é de fundamental importância inibir o ofuscamento devido ao mesmo tornar o ambiente de trabalho propenso a erros, estresse e acidentes. Geralmente o ofuscamento no ambiente industrial ocorre devido a luminárias superdimensionadas, janelas e portas externas.

Para evitar o ofuscamento existe a necessidade de realização de medidas preventivas, como a instalação de elementos que reduzam a iluminância sobre as superfícies, o escurecimento de janelas, e a definição correta do ângulo de corte mínimo para luzes artificiais, isto é, proteção de visualização direta da lâmpada.

Os valores de ângulo de corte mínimo também são estabelecidos pela norma NBR ISO/CIE 8995-1, e estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Ângulo de corte pela luminância da lâmpada.

Luminância da Lâmpada (kcd/m ²)	Ângulo de corte mínimo
1 a 20	10°
20 a 50	15°
50 a 500	20°
≥ 500	30°

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

Para se evitar o ofuscamento desconfortável, primeiro deve-se calcular o valor referente a este ofuscamento no local estudado a partir das possíveis posições do observador. Para isso utiliza-se o método tabular do Índice de Ofuscamento Unificado da CIE (URG) (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), a partir da fórmula:

$$UGR = 8 * \log \left(\frac{0,25}{L_b} * \Sigma \frac{L^2 * \omega}{p^2} \right) \quad (4)$$

onde:

L_b = luminância de fundo (candela/m²); L = luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (candela/m²); ω = ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano), e; p = índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

O método tabular do Índice de Ofuscamento Unificado da CIE estabelece um valor máximo de URG que um local deva ter baseado no tipo de instalação e na sua utilidade conforme Tabela 1.

Caso exista diferentes tipos de lâmpadas e/ou luminárias, deve-se calcular o valor de URG de cada fonte luminosa independentemente, e adotar-se como o valor local o maior URG encontrado.

Há também o Ofuscamento Refletido, que nada mais é do que o desconforto causado pela reflexão da luz em superfícies próximas ao objeto observado. Para se evitar tal ofuscação, deve-se:

- Distribuir adequadamente as luminárias e/ou os locais de trabalho;
- Utilizar acabamentos com superfícies/materiais pouco refletoras;
- Dimensionamento das luminâncias das luminárias em níveis adequados;
- Ampliação da área luminosa da luminária;
- Evitar pontos brilhantes no teto e nas paredes.

2.5 DIRECIONALIDADE

A direcionalidade da luz relaciona-se com seu destaque, ou não nos objetos. Uma luz focada direcionada em um objeto, ou um ambiente de trabalho, cria uma percepção maior sobre os eventos ocorrendo no mesmo. Enquanto uma luz direcional, combinada com uma luz difusa, pode destacar texturas e melhorar a aparência de ambientes, objetos, e até mesmo pessoas. A escolha de como as luzes devem ser dispostas, direcionalmente ou não, fica a critério do projetista, desde que este leve em consideração os objetivos de uso para o ambiente.

2.6 ASPECTOS DA COR

Em relação a reprodução de cores pelas lâmpadas artificiais, existe a aparência da cor, e a reprodução da cor. LUMICENTER (2017).

A aparência da cor relaciona-se com a cor que as lâmpadas emitem. Além das cores, as lâmpadas também podem ser classificadas em quente, intermediária e fria, de acordo com as temperaturas de cor correlata (TCP), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Aparência da cor em relação à sua temperatura.

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata
Quente	Abaixo de 3300 k
Intermediária	3300 a 5300 k
Fria	Acima de 5300 k

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

A reprodução da cor está relacionada com a fidelidade com que a luz artificial emitida consegue reproduzir as cores do ambiente, dos objetos, e da pele humana (LUMICENTER, 2017). Para um ambiente de trabalho, principalmente o fabril, essa característica é de fundamental importância por haver cores relacionadas à segurança, cores estas definidas pela ISO 3864. Existe um índice geral de reprodução de cor (R_a), que avalia a real fidelidade de reprodução das cores por uma lâmpada, seu índice máximo é 100, e não se recomenda usar lâmpadas com índices inferiores à 80 em ambientes de uso contínuo.

2.7 LUZ NATURAL

A luz natural é fornecida pelo Sol, e contempla todas as formas de ondas das cores visíveis. Ela é o referencial exemplar da reprodução de cores, com índice de 100, portanto reproduz todas as cores com real fidelidade (PROCEL, 2011).

Para este estudo, optamos pelo pior cenário possível quanto ao fornecimento de luz natural, ou seja, de noite. Com isso conseguiremos adequar o fornecimento de luz artificial de forma a suprir todas as necessidades do ambiente, independentemente da hora do dia ou do clima local.

2.8 MANUTENÇÃO

A manutenção está relacionada com o cuidado que se deve ter com o ambiente e suas luminárias. Um ambiente sujo tende a ser pouco reflexivo, prejudicando a luminosidade local, e luminárias muito sujas não conseguem emitir todo o seu potencial luminoso, prejudicando, também, a luminosidade local.

Os valores do fator de manutenção são retirados da Tabela 5, e não se recomenda trabalhar com valores inferiores à 0,70.

Tabela 5 - Fator de manutenção.

Tipo do ambiente	Período de manutenção (h)		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte: Creder, 2007.

2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE ENERGIA

As especificações energéticas locais devem ser consideradas e respeitadas na hora do planejamento de um sistema de iluminação. Este sistema deve ser planejado, também, para se evitar perdas energéticas desnecessárias, porém sem prejudicar os aspectos visuais do ambiente.

2.10 LÂMPADAS LED

Diodos emissores de luz (LEDs) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Ao contrário da lâmpada incandescente, que cobre todo o espectro de cores, o LED gera apenas uma única cor, que depende do tipo de material utilizado, como galeno, arsênico e fósforo.

Os LEDs apresentam alguns benefícios, como por exemplo: longa durabilidade; alta eficiência luminosa; variedade de cores; dimensões reduzidas; alta resistência a choques e vibrações; não gera radiação ultravioleta e infravermelha; baixo consumo de energia e pouca dissipação de calor; redução nos gastos de manutenção, permitindo a sua utilização em locais de difícil acesso; possibilidade de utilização com sistemas fotovoltaicos em locais isolados; etc." (ELEKTRO, 2012)

2.11 Software Dialux:

O *software* Dialux EVO permite calcular, desenhar, e “ver” a luz profissionalmente em ambientes, sejam eles quartos, corredores, prédios ou *outdoor*.

Tendo sua primeira versão criada em 1994, pela empresa alemã DIAL GmbH, o Dialux é um dos *softwares* de cálculos luminotécnicos mais difundidos do mundo, por possuir versões gratuitas e completas.

Dentre algumas das vantagens do *software*, destaca-se a possibilidade de acesso aos luminaires postados na internet; a capacidade de importar objetos de

outros *softwares*; A possibilidade de modelar edifícios inteiros, juntos com seus ambientes individuais; a possibilidade de se fazer cálculos luminotécnicos do interior e do exterior de um mesmo leiaute; dentre outros.

Para este trabalho os principais motivos para a escolha do Dialux Evo como *software* de simulação, foi o fato dele ser gratuito e possuir uma grande gama de ferramentas, como as mencionadas acima.

2.12 *Payback*

Payback, ou tempo de retorno de investimento, é o tempo que levará para o investidor conseguir recuperar o dinheiro investido.

Nos projetos luminotécnicos, lâmpadas de melhor eficiência energética apresentam um investimento maior, porém geram economia nos custos operacionais, ou seja, ao longo do tempo de operação. É a partir dessa economia que se calcula em quanto tempo o valor economizado será equivalente ao valor investido.

São existentes duas formas de se calcular o *payback*: o simples e o descontado. O *payback* simples não considera juros, inflação ou custo de operacionalidade, apenas o quanto foi economizado por um período de tempo, e quantas vezes esses períodos têm de se repetir para se alcançar o valor do investimento e o *payback* descontado é estudado de forma semelhante, porém considerando-se juros e a inflação da época. PRATES (2016).

A Figura 4 ilustra um exemplo fictício onde houve um investimento inicial de 20 milhões que gerou lucros líquidos de 5 milhões por um período de tempo:

Figura 4 - Diagrama de fluxo de caixa.



Supondo que o período mencionado, para se lucrar 5 milhões, seja de aproximadamente um ano, o *payback* do investimento será em 4 anos. (PALUZZO, GENILSON V. 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERÍSTICAS DA FÁBRICA

Para o levantamento dos dados atuais da fábrica optou-se por realizar um estudo preliminar para verificar as reais condições luminárias, foram realizadas aferições luminotécnicas de acordo com as NBRs 5413, 5382 e 5461 com o auxílio de um luxímetro. Todas as aferições realizaram-se de acordo com a NBR 5382 que disserta da verificação da iluminância de interiores, método de ensaio, e os valores para condição mínima exigida de iluminância baseia-se na NBR 5413.

3.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

Existem quatro métodos de cálculo de iluminação sendo ou pela carga mínima exigida por norma, pelo método dos lumens, pelo método das cavidades zonais e pelo método ponto a ponto. O método pela carga mínima exigida (Método das Eficiências), por norma é baseado em uma aproximação e serve como referência CREDER (2015), já o método dos lumens baseia-se nos níveis de iluminância da mesma forma que o método das cavidades zonais e o método ponto a ponto verifica a iluminância em qualquer parte da área analisada.

Para este estudo, primeiramente utilizou-se como guia o “Manual luminotécnico prático” - OSRAM (2006) - que considera a quantidade de iluminância mínima exigida por norma.

Para o cálculo desta quantidade mínima segundo o manual, devem ser considerados os seguintes parâmetros:

- 1° Escolha da lâmpada adequada;
- 2° Escolha da luminária adequada;
- 3° Cálculo da quantidade de luminárias.

Após selecionado os três parâmetros acima, os devidos cálculos para se alcançar à iluminância média (E_m) exigida devem ser realizados. Para isso, deve-se considerar as seguintes variáveis:

- A = Área do local estudado;
- n = Quantidade de lâmpadas;

- φ = Fluxo luminoso de uma lâmpada;
- φ_{lum} = Fluxo luminoso de uma luminária em funcionamento;
- $\Sigma\varphi_{lum}$ = Somatório dos valores totais de fluxo luminoso das lâmpadas;
- $\Sigma\varphi_{plano}$ = Fluxo luminoso incidente sobre uma determinada área A(m²) no plano de trabalho considerado;
- Fd = Fator de depreciação;

Estas variáveis são aplicadas nas Equações 5 a 14:

O cálculo da iluminância média E_m é dado pela Equação 5:

$$E_m = \frac{\varphi_{plano}}{A} \quad (5)$$

A eficiência do recinto é dada pela Equação 6:

$$\eta_R = \frac{\varphi_{plano}}{\Sigma\varphi_{lum}} \rightarrow \varphi_{plano} = \eta_R * \Sigma\varphi_{lum} \quad (6)$$

A eficiência luminária é dada pela Equação 7:

$$\eta_R = \frac{\varphi_{lum}}{\varphi * BF} \rightarrow \varphi_{lum} = \eta * \varphi * BF \quad (7)$$

O fluxo luminoso emitido no recinto é dado pela Equação 8:

$$\Sigma\varphi_{lum} = \eta_L * \Sigma\varphi \quad (8)$$

Multiplicando ambas as variáveis (esquerda e direita) da Fórmula 8 por η_R , adquire-se a Equação 9:

$$\eta_R * \Sigma\varphi_{lum} = \eta_R * \eta_L * \Sigma\varphi \quad (9)$$

Substituindo a variável esquerda da Fórmula 9 de acordo com os valores relacionados na Equação 6:

$$\varphi_{plano} = \eta_R * \eta_L * \Sigma\varphi \quad (10)$$

Substituindo φ_{plano} na Equação 5 pela relação proposta na Equação 10:

$$E_m = \frac{\eta_R * \eta_L * \Sigma\varphi}{A} \quad (11)$$

Como

$$\Sigma\varphi = n * \varphi * BF \rightarrow E_m * A = \eta_R * \eta_L * \varphi * n * BF \quad (12)$$

É obtido o resultando conforme a Equação 13:

$$n = \frac{E_m * A}{\eta_R * \eta_L * \varphi * BF} \quad (13)$$

A Equação 14 relaciona n considerando o fator de depreciação Fd :

$$n = \frac{E_m * A * Fd}{\varphi * \eta_L * \eta_R * BF}, Fu = \eta_L * \eta_R \rightarrow n = \frac{E_m * A * Fd}{\varphi * Fu * BF} \quad (14)$$

Caso o número de luminárias calculadas não esteja coerente com o planejamento de distribuição luminosa, é preferível que exista a adição de luminárias ao invés da subtração das mesmas, para que não exista perdas nos níveis de iluminância, contrariando a norma exigida PROCEL (2011).

Para que exista a comparação, um *software* de simulação será utilizado e seus resultados comparados com os resultados encontrados seguindo o passo a passo aqui exposto.

3.3 SIMULAÇÃO UTILIZANDO SOFTWARE DIALUX EVO

Para a simulação utilizou-se o *software* livre dialux Evo 8.1, *software* esse muito amplamente empregado para realização de cálculos luminotécnicos, possui uma apresentação foto realista e apresenta uma interface simples e conceitos intuitivos. É um *software* gratuito e proporciona a simulação de leiautes internos e externos.

3.4 VERIFICAÇÃO DO RETORNO DE INVESTIMENTO

Será utilizado o tempo de retorno do investimento aplicando o cálculo de *payback* simples sendo essa uma ferramenta de engenharia econômica.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento segue toda a metodologia proposta verificando e analisando a luminária adotada, realizando sua simulação e o retorno de investimento.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA FÁBRICA

O presente tópico apresenta a mudança o que ocorreu no leiaute da fábrica e os valores médios da coleta dos dados para cada local de trabalho analisado.

4.1.1 Análise da fábrica

Sendo uma indústria metalúrgica 100% nacional a Águia Sistemas iniciou suas atividades em 1973. Integra a Águia Participações que iniciou seus trabalhos na década de 1970, na cidade de Ponta Grossa, Paraná, com a Metalúrgica Águia. Juntamente com outras duas empresas – a Águia Florestal e a Smart Sistemas Construtivos – customiza e fornece soluções para os segmentos de logística, movimentação e armazenagem de materiais, possui grande diversidade de produtos, tecnologias e serviços no Brasil e na América Latina. Possui sua sede administrativa e o parque fabril situados na cidade de Ponta Grossa, Paraná. Com um parque fabril projetado para o melhor fluxo de materiais na cadeia produtiva, obedece a rigorosos padrões de qualidade. Sempre investe em seu parque de máquinas e em infraestrutura assegurando a ampliação de sua capacidade produtiva com padrões de qualidade em todo o processo produtivo.

Possui como principal fator estratégico o estabelecimento de um relacionamento de longo prazo com os clientes, procurando sempre contribuir para o alcance de seu diferencial competitivo.

4.1.2 Análise da fábrica

As dimensões físicas da fábrica foram coletadas e disponibilizadas na Tabela 6:

Tabela 6 - Dimensões atuais da fábrica.

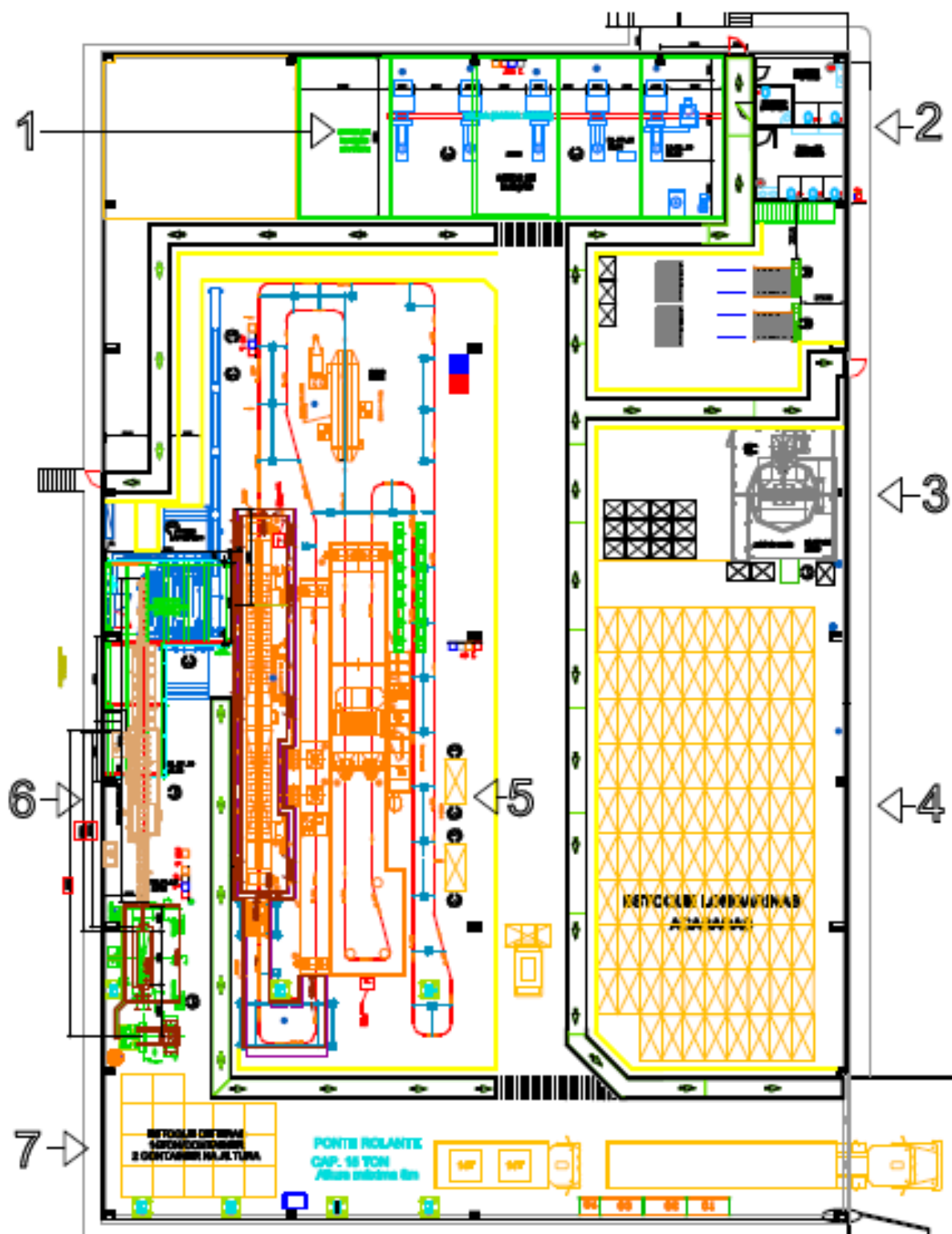
Dados	Valor	Unidade
Área total da fábrica	2644,5	m ²
Largura	41,0	m
Comprimento	64,5	m
Pé direito	9,0	m
Luminária ao plano de trabalho	8,0	m

Fonte: autoria própria.

De forma a compreender melhor a disposição física da fábrica e de seus ambientes, a Figura 5 apresenta a disposição das máquinas antes do leiaute sofrer alteração.

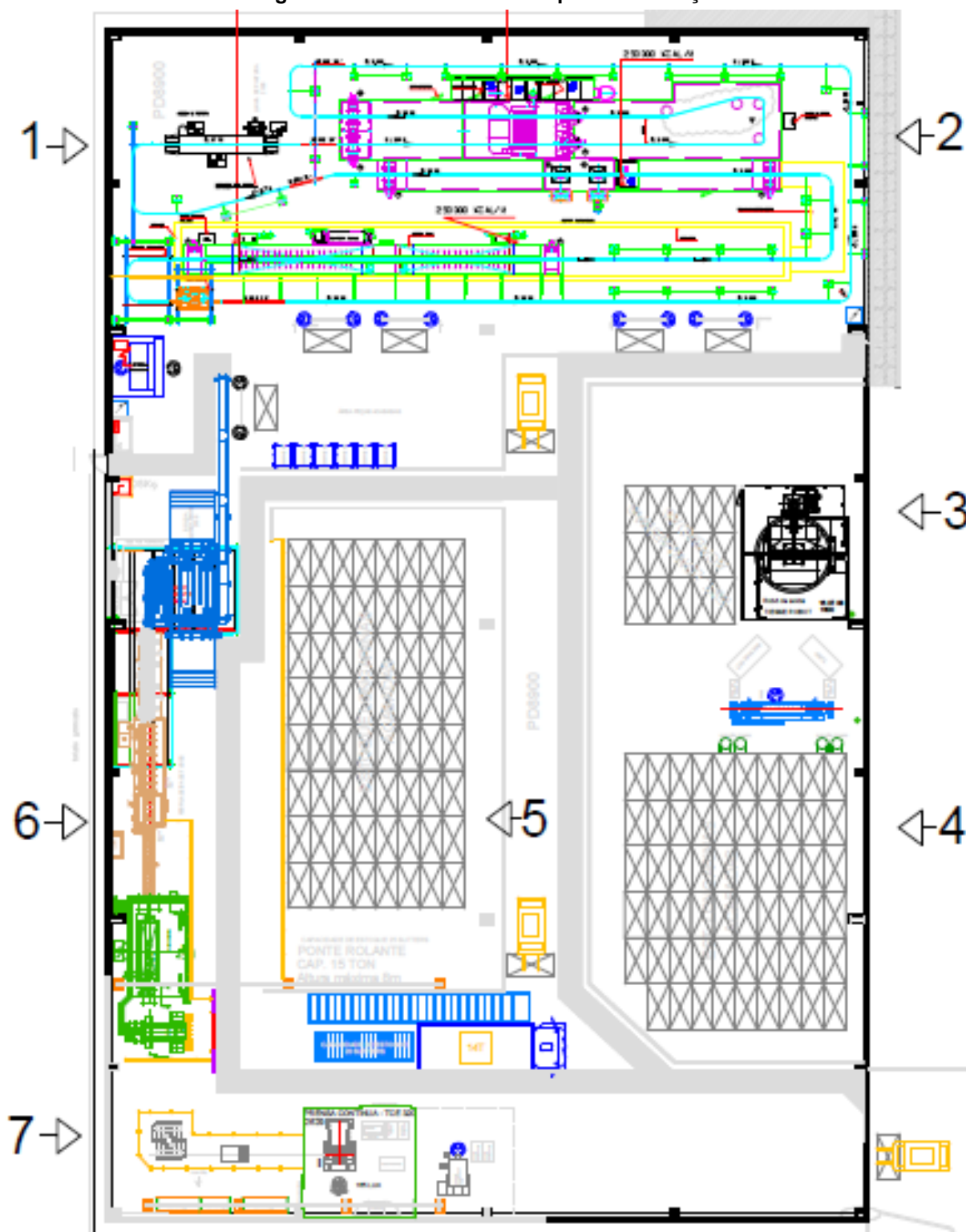
A Figura 6 apresenta a disposição atual das máquinas, verifica-se que a fábrica sofreu mudanças significativas, dentre elas as principais mudanças foram o banheiro, que na Figura 5 está apresentado com o número 2, esse antes estava no interior da fábrica e agora encontra-se na área externa. A linha de pintura, que atualmente encontra-se na posição indicada por 1, antes encontrava-se na posição 5, essa por sua vez possui o depósito de longarinas prontas. Observa-se a mudança na posição de número 7, que agora dispõe de prensas e anteriormente era acesso para caminhões e depósito de bobinas de aço. A posição de número 4 sofreu a adição de um torno mecânico e redução da área de depósito. Não sofreram mudança as linhas de longarina e robô apresentadas em 3 e 6 em ambas as Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 - Leiaute da fábrica antes da mudança.



Fonte: Autoria própria

Figura 6 - Leiaute da fábrica após a mudança.



Fonte: Autoria própria.

A produção base da fábrica é de longarinas, que servem para suporte estrutural de estrutura de porta *pallet*. Essas longarinas são produzidas a partir de bobinas de aço, essas bobinas são transportadas em caminhão até o interior da fábrica, esse caminhão fica posicionado em uma posição específica e o operador retira a bobina da sua caçamba com auxílio de uma ponte rolante. A bobina é transportada da ponte rolante até a linha de longarina onde é encaixada na posição correta, estando a bobina na posição o operador retira a talha e a conduz novamente até a posição próxima ao caminhão.

Voltando à linha de longarina indica pelo número 6 na Figura 6, o operador realiza o processo para encaixar o início da bobina na máquina. Finalizado isso o operador sai da zona controlada e inicia o processo de extrusão da bobina. A máquina da linha de longarinas realiza os processos de dobras necessários e entrega o produto quase finalizado na parte destacada em azul no número 6 da Figura 6, essa posição é responsável pela solda automática da longarina. Finalizado isso o colaborador as retira manualmente e posiciona em um local específico após verificação visual, uma empilhadeira pega esse produto em maior quantidade e o conduz para a linha de pintura caso não exista a necessidade de retrabalho. Estando a longarina pronta para pintura os operadores a conduzem manualmente até a máquina de pintura, a máquina realiza todo o processo e no final os colaboradores a retiram da máquina e verificam se a longarina não possui defeito e/ou necessita de retoques. Estando tudo de acordo as longarinas são depositadas e aguardam saída.

Atualmente, a fábrica conta com 63 lâmpadas distribuídas uniformemente no leiaute demonstrado na Figura 7. As características observadas para continuação do projeto são:

- A cor do teto é clara;
- As cores das paredes são claras;
- A cor do piso varia tendendo em sua maioria para cinza claro;
- Possui eletrocalhas fixadas em perfilados com espaçamento aproximado de 5m e a altura de 8m do piso.

O pé direito é de aproximadamente 8,50m.

Figura 7 - Distribuição atual das luminárias



Fonte: Autoria própria.

As 63 lâmpadas apresentadas no leiaute da Figura 7 são predominantemente de vapor de sódio, com uma potência de 400 watts, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7 - Luminárias atuais.

Item	Quantidade	Potência	Lumens
Luminária pendente de vapor metálico	57	400 W	46000
Luminária pendente tubular 2 lâmpadas	6	110 W	8300

Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Norma de definição de níveis de iluminação

Para análise do ambiente luminoso atual verifica-se que mesmo com o cancelamento da NBR 5413, de 1992, os seus valores de iluminância indicados para as atividades são válidos, segundo a nota técnica nº 224 de 2014 presente no Anexo D. A nota cita que a NR 17 toma por base, no item 17.5.3.3, os níveis mínimos de iluminação por locais de trabalho estabelecidos na NBR 5413, registrada no Inmetro. A nota técnica cita a NBR 5382 de 1985 que trata da verificação da iluminância de interiores, o que prejudica o cumprimento do item 17.5.3.3 da NR 17 devido ao fato da ABNT ter editado a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 de 2013, que trata da iluminação do ambiente de trabalho. Existiu então o questionamento de que a nova Norma valeria para o atendimento do item 17.5.3.3, contudo a nota técnica conclui que para o cumprimento do item 17.5.3.3 devem ser observados os valores de iluminância indicados na ABNT NBR 5413 de 1992, e os métodos de avaliação continuam sendo com base na Norma NBR 5382 de 1985.

Com isso, para o levantamento dos dados e análise do ambiente, será utilizado os valores referentes à NBR 5413 de 1992, e para o projeto luminotécnico será utilizada a ABNT NBR, ISO/CIE 8995-1 de 2013, sendo que esta é voltada para projetos de iluminância.

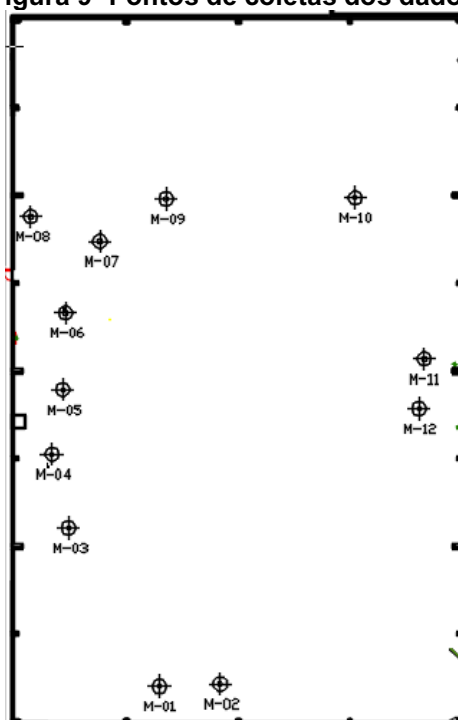
4.1.4 Fotometria

O luxímetro é um exemplo de fotômetro que é calibrado em Lux e é utilizado para medir níveis de iluminância de interiores RODRIGUES (2002). O luxímetro para verificar os níveis de iluminância da fábrica foi o modelo medidor de nível de pressão sonora digital portátil thdl-400, foi calibrado dia 19/10/2017 com calibração válida até 10/2019. Os valores das aferições são válidos para dia 2 de março de 2020 no horário das 20 horas. A justificativa para a realização da coleta dos dados neste horário baseia-se em que não existe mais a influência da iluminação natural nessa hora do dia, sendo assim essa é a melhor condição para analisar apenas a incidência da iluminação artificial nos setores estudados na fábrica. Na Figura 8 ilustra o luxímetro usado no projeto, que consiste em um Termo-Higro-Decibelímetro-Luxímetro Digital, marca: Instrutherm, modelo THDL-400.

Figura 8 - Luxímetro Instrutherm THDL-400.

Fonte: Autoria própria.

Observa-se, na Figura 9, que as coletas dos dados de iluminância foram priorizadas em doze pontos específicos, pontos estes que se encontram nas áreas de maior permanência dos operadores. Estes pontos atendem a descrição de requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios, conforme Nota Técnica 224/2014 /CGNOR/DSST/SIT, para o cumprimento do item 17.5.3.3 devem ser observados os valores de iluminância previstos na ABNT NBR 5413/1992.

Figura 9- Pontos de coletas dos dados.

Fonte: Autoria própria

Assim sendo, a tabela 1 presente na norma NBR 5413 apresenta os valores de iluminação mínimo para cada atividade da fábrica. Os valores recomendados de iluminância que serão utilizados referenciam-se à esta tabela, a classe usada é a Classe A referente a iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples, o valor de iluminância é de 300 Lux que se refere a tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria e auditórios. Como nas atividades o campo de trabalho varia, utilizou-se a medição dos níveis de iluminação em plano horizontal de 0,75m (setenta e cinco centímetros), conforme indicado na NBR 5413/1992 e NR 17 - ergonomia.

A Tabela 8 apresenta os setores fabris referente aos pontos de coleta apresentados pela Figura 9. Observa-se também a indicação do local de trabalho destes setores e quais os valores de iluminância coletados nos mesmos. Ao compararmos tais valores coletados com os valores indicados por norma, nota-se que, na maioria dos ambientes estudados, os valores de iluminância estão abaixo do ideal, com exceção de dois locais onde ocorre a solda automática, nestes locais os valores ficaram acima do indicado por norma.

Tabela 8 - Valores totais de todos os dados médios coletados.

Setor	Local de trabalho	Recomendado (Lux)	Coletado (Lux)
Longarinas (M-01)	Prensa 2629	300	165
Longarinas (M-02)	Prensa 1204	300	249
Longarinas (M-03)	Desbobinadeira	300	184
Longarinas (M-04)	Perfiladeira	300	167
Longarinas (M-05)	Solda Automática Lado1	300	352
Longarinas (M-06)	Solda Automática Lado2	300	393
Longarinas (M-07)	Saída De Perfiladeira	300	160
Longarinas (M-08)	Bancada De Solda	300	212
Longarinas (M-09)	Robô De Solda	300	235
Pintura De Longarinas (M-10)	Carga	300	273
Pintura De Longarinas (M-11)	Descarga	300	345
Pintura De Longarinas (M-12)	Cabine De Pintura	300	260

Fonte: Autoria Própria.

4.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

4.2.1 Cálculo de iluminação geral (Método das eficiências)

Para realizar o cálculo da quantidade de luminárias, optou-se pela luminária de sobrepor modelo LED AL1-128 do fabricante Osram, por essa constar no sistema da fábrica e já ser comumente usada em projetos semelhantes em outras filiais. Essa luminária possui corpo de alumínio extrusado, alto desempenho térmico, e uma maior

vida útil por possuir um difusor. Essa luminária de potência 128w, cujo código é al128, é uma luminária de 16000 Lumens, sendo de 125 lumens por watt, pesa 2,5 kg dimensões de 115mm de largura, 1950 de comprimento e 50 de altura. A luminária em questão é indicada para o setor comercial e industrial pois possui um fator de potência de 0,99 e uma vida útil estimada de 50.000 horas. Possui um índice de reprodução de cor maior que 80 e uma temperatura de cor de 5000K.

Com esses dados, seguindo o “Guia luminotécnico prático” - OSRAM (2005), descrito no item 3.2, partindo da Fórmula 15, que fornecerá o valor n de luminárias, e resolverem-se as incógnitas faltantes:

$$n = \left(\frac{Em * A * Fd}{\varphi * Fu} \right) \quad (15)$$

Neste caso foi ignorado o fator BF pelo fato das lâmpadas selecionadas LED não possuírem perdas por reator.

Para o cálculo do valor da área A , foi utilizado os dados fornecidos na Tabela 6:

$$A = 41 * 64,5 = 2644,5m^2 \quad (16)$$

O valor do fluxo luminoso (φ) da lâmpada é adquirido através do seu manual, presente no Anexo A e pode-se observar que o valor para a lâmpada em questão é de 16000 lumens. Portanto:

$$\varphi = 16000lum \quad (17)$$

Para o cálculo do Fator de Utilização (Fu), necessita-se saber as características do ambiente. Como foi observado no item 4.1.2, o ambiente conta com um teto é claro, paredes claras, e piso variado, tendendo em sua maioria para cinza claro. Com as suas dimensões, já citadas na Tabela 6, primeiramente estipulou-se o índice do ambiente através da Tabela 18 na página de anexos. Observando tal tabela, concluímos que o índice do local é de classificação D .

Com o índice das características do teto, do piso, e da parede, analisa-se a Tabela 19 no Anexo B, e determinamos o valor do Fator de Utilização (Fu):

$$Fu = 0,51 \quad (18)$$

O fator de depreciação está intimamente ligado à limpeza do ambiente, e pode ser retirado da Tabela 5.

Com isso, o Fator de Depreciação (F_d) escolhido foi de 0,85.

Por último, através da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, e da Tabela 1 supra citada, obtém-se o valor da Iluminância média mínima para o ambiente: 300 Lux.

Substitui-se os valores e realizando-se os devidos cálculos:

$$n = \left(\frac{300 * (41 * 64,5) * 0,85}{16000 * 0,51} \right) \quad (19)$$

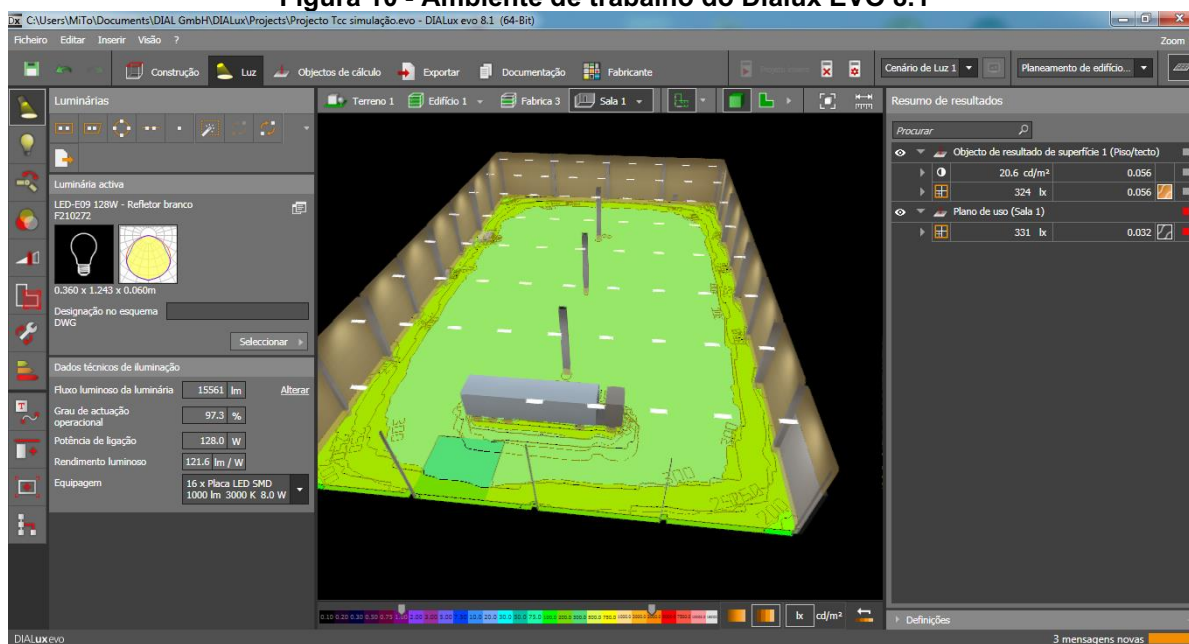
$$n = 82,64 \quad (20)$$

Assim o valor calculado pelo método da eficiência é de 83 luminárias.

4.3 SIMULAÇÃO EM SOFTWARE

Sabe-se que existem diversas ferramentas para simulação de ambientes luminosos, tanto interno quanto externo. Estes simuladores proporcionam ao projetista a visualização do projeto final em forma de gráficos zonais. Esses gráficos de zonais são diagramas de iluminância em pontos variados do ambiente. Para o caso existente optou-se pela utilização do *software* DIALUX na versão 8.1, que é uma ferramenta gratuita de simulação. Para iniciar a simulação em *software*, viu-se a necessidade de exportar o projeto original da fábrica para o simulador. Estando de posse dos dados da fábrica, delimita-se as extremidades do recinto para futura simulação. A Figura 10 apresenta o ambiente de trabalho do *software* Dialux

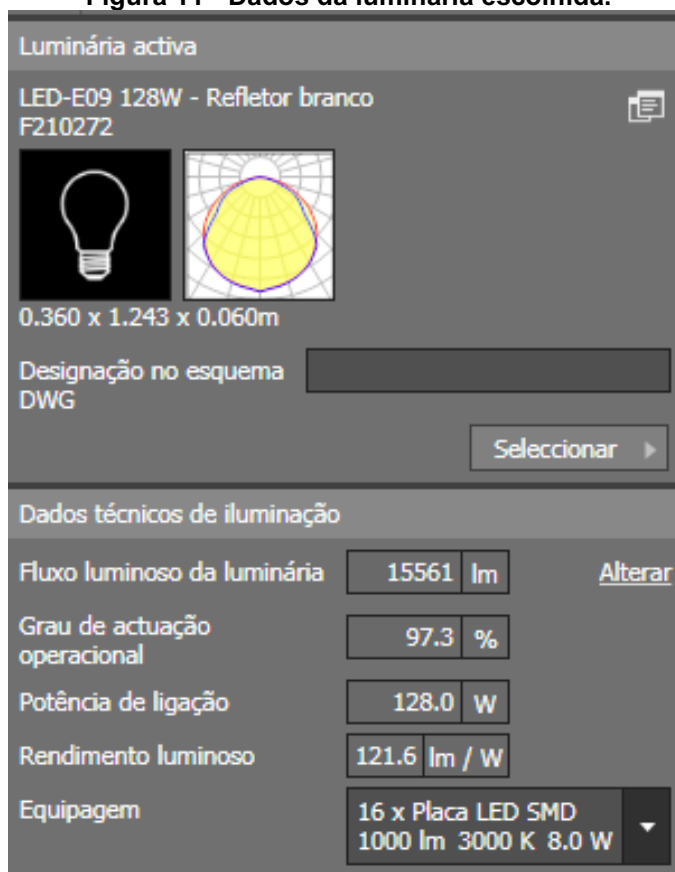
Figura 10 - Ambiente de trabalho do Dialux EVO 8.1



Fonte: Autoria Própria.

Após as adaptações necessárias para a definição da área de simulação, buscou-se os dados da luminária escolhida no site do fabricante e os inseriu no ambiente de simulação, conforme a Figura 11:

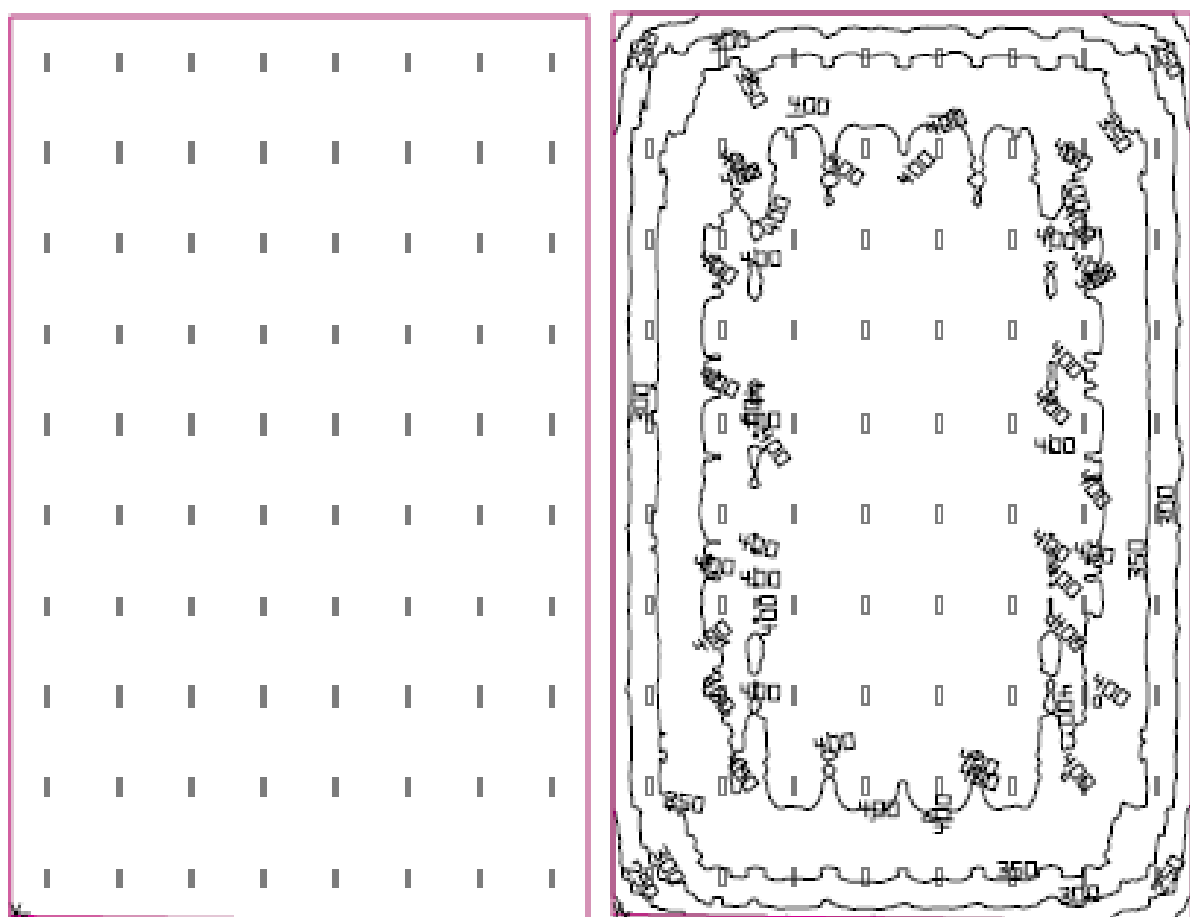
Figura 11 - Dados da luminária escolhida.



Fonte: Autoria própria.

Com esses dados inseridos, conseguimos analisar os resultados técnicos da simulação. Resultados esses que geraram as respectivas Figura 12 e Figura 13:

Figura 12 – Distribuição das luminárias e diagrama de iluminância

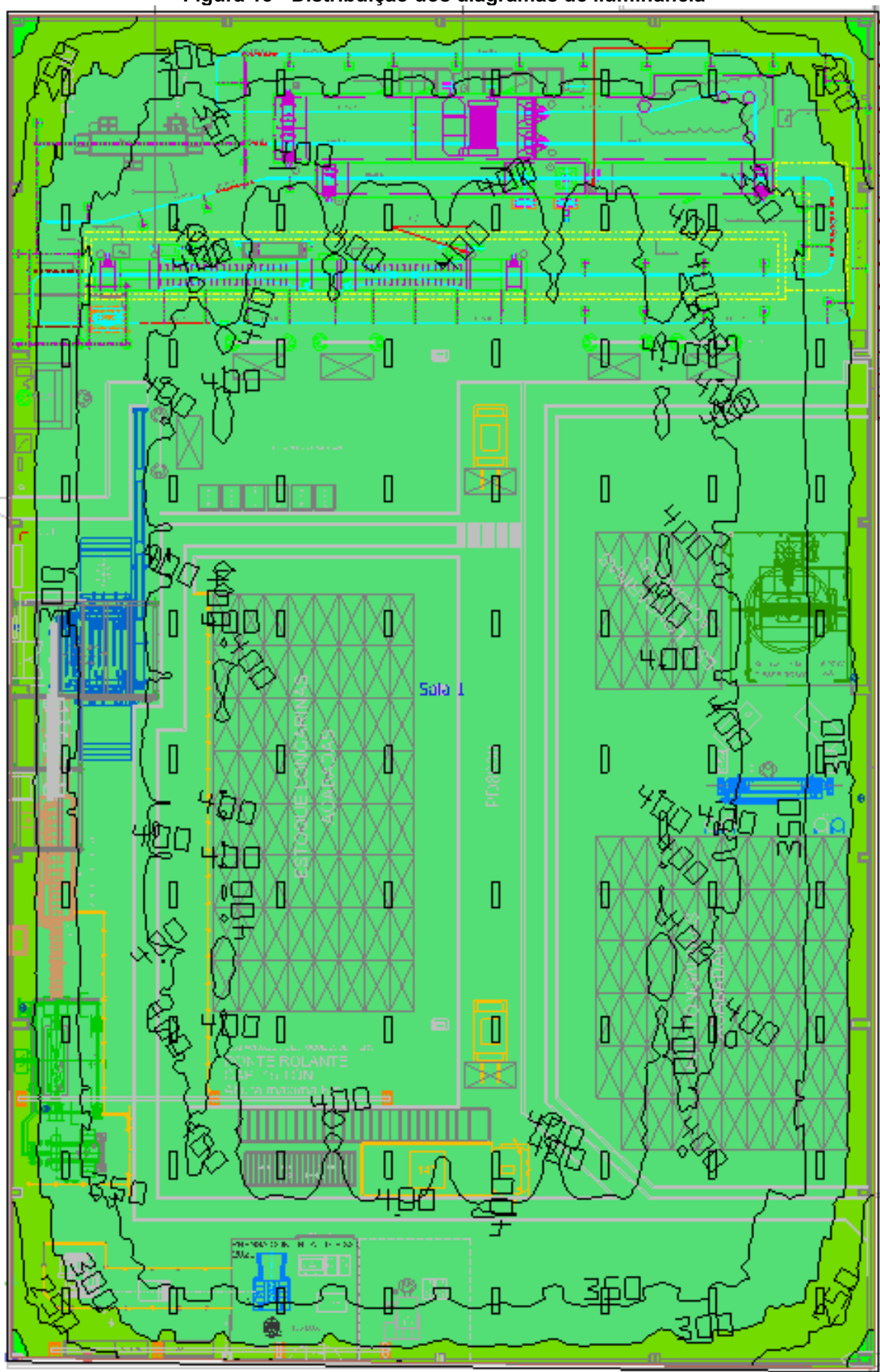


Fonte: Autoria própria

A imagem à esquerda na Figura 12 apresenta a distribuição das luminárias no ambiente fabril estudado. À direita podemos ver a mesma distribuição com o seu respectivo diagrama de iluminância. Ambas as imagens foram geradas nos relatórios do *Software*.

A Figura 13 apresenta o diagrama de iluminância colorido para uma melhor verificação da distribuição dos luxes no ambiente fabril.

Figura 13 - Distribuição dos diagramas de iluminância



Fonte: Autoria própria

4.3.1 Análise dos ambientes

Todo o setor estudado refere-se à produção de longarinas, contudo diversas atividades são realizadas na fábrica, sendo que a maioria compreende usinagem, bobinadeira, linha de corte, produção com operação manual contínua e produção sem intervenção manual. O setor de trabalho da prensa 2629 possuía nível de iluminância abaixo do indicado por norma totalizando um valor médio de iluminância de 165 Lux. Verifica-se que agora o ambiente possui uma luminária com melhor eficiência próxima à região do trabalho e totaliza na sua maioria 400 Lux de iluminância reduzindo seu valor próximo a parede para 300 Lux.

Na análise de trabalho da prensa 1204 verifica-se que o valor de iluminância médio medido era de 165 Lux e após melhor distribuição das luminárias e sua substituição por luminárias LED o ambiente passa a ter em sua maioria 400 Lux e aproximando da parede o valor atinge 300 Lux atendendo requisitos da norma.

No setor da perfiladeira verifica-se que tanto na área do painel da dobradeira quanto na área de perfiladeira de tubos existem valores abaixo dos indicados por norma, após verificou-se o valor de iluminância médio de 350 Lux para ambas as áreas sendo que anteriormente o valor médio medido era de 184 Lux.

Na área de solda automática verifica-se que em ambos os lados o valor de iluminância média estabelecido por norma é atendido sendo que no lado 1 a média de leituras foi de 352 Lux é do lado 2 este valor corresponde a 392 Lux após a nova distribuição das luminárias verifica-se que o valor em ambos os lados está entre 300 e 400 Lux. Na análise da saída da perfiladeira, observa-se que o valor médio de iluminância foi de 160 Lux, o que é menor do que o indicado por norma que é de 300 Lux.

O valor de iluminância média para a bancada de solda foi de 212 Lux, e após a nova configuração de luminárias verificou-se a necessidade da inclusão de uma luminária sobre este posto de trabalho sendo assim o valor médio de iluminância para o sistema proposto é de 300 Lux.

Na análise da área robô de solda o valor médio de iluminância coletado foi de 165 Lux. Verifica-se que após a nova distribuição o valor é de 400 Lux para o ambiente.

Para a análise da área pintura de longarinas, carga e descarga de peças verifica-se que na entrada de peças da pintura de longarina o valor médio coletado de

iluminância foi de 273 Lux e está abaixo do valor de 300 Lux indicado por norma. Nota-se que após a redistribuição e substituição das luminárias o valor compreendido para toda entrada e de 450 Lux. Já para a saída o valor médio coletado de iluminância foi de 345 Lux e na nova configuração este valor passa para 400 Lux.

Analisando da cabine de pintura o valor médio coletado de iluminância foi de 260 Lux e agora o valor apresentado na proposta compreende para essa área um valor de iluminância entre 300 e 400 Lux.

4.4 DADOS ECONÔMICOS

Foram levantados os dados da fábrica a fim de verificar qual seria a redução do valor gasto com energia elétrica para a produção de uma tonelada de aço. Para isso, foram analisados os gastos energéticos no período de janeiro até agosto de 2019, e da mesma forma foi verificada a produção de aço em toneladas.

Os dados levantados foram: Produção em toneladas; custo energético em reais (R\$); consumo energético, em Mega *Watts* hora (MWH), em horário de ponta e fora de ponta. Com esses dados foram calculados: O custo energético por tonelada; e o consumo energético por tonelada. Os valores levantados e calculados estão na Tabela 9:

Tabela 9 - Dados econômicos atuais

	Mi Toneladas	Copel R\$	Copel MWh Ponta	Copel MWh Fora Da Ponta	Boven R\$	Boven MWh	Reais Por Tonelada R\$	Kg Por KWh
Jan/19	1.931	143.026,91	34,87	444,46	85.344,17	479,33	0,12	0,50
Fev/19	2.049	175.458,39	47,57	552,62	111.255,93	602,30	0,14	0,59
Mar/19	2.407	187.486,58	54,91	617,79	125.515,39	679,49	0,13	0,56
Abr/19	2.502	189.754,28	56,28	641,59	129.954,21	703,52	0,13	0,56
Mai/19	2.019	294.713,12	57,26	614,67	125.023,48	676,83	0,21	0,67
Jun/19	1.327	292.286,14	59,82	627,31	127.744,41	691,56	0,32	1,04
Jul/19	1.890	203.726,57	47,84	524,23	105.852,13	573,04	0,16	0,61
Ago/19	1.968	154.852,98	51,48	564,35	114.095,26	617,67	0,14	0,63
Média	1.994	188.620,43	53,19	589,51	119.559,37	647,25	0,13829	0,596

Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que a fábrica em questão compra energia de dois fornecedores: Copel e BOVEN.

A Tabela 10 apresenta um comparativo dos custos e consumo da energia elétrica das lâmpadas atuais instaladas na fábrica e das lâmpadas LED escolhidas, a ECP A1-128, em uma hora. Nota-se que o valor reduzido é de R\$ 883,46 por mês.

Tabela 10 - Custos por luminária

	KWh ponta fora da ponta	KWh ponta	R\$
Com as luminárias atuais	258,06	70,38	1614,69
Com projeto de eficiência	116,86	31,87	731,23
Redução	141,20	38,50	883,46

Fonte: Autoria própria

Para estimarmos quais economias seriam feitas caso o projeto luminotécnico proposto fosse implantado, utilizamos o consumo elétrico do mesmo período estudado, de janeiro até agosto de 2019, e aplicamos o consumo e custo das luminárias ECP A1-128. Os valores da economia em reais e kWh, estão na Tabela 11.

Tabela 11 - Economia por tonelada de produção.

	Valor estimado reduzido
R\$/Tonelada	0,44
kWh/Tonelada	91,39

Fonte: Autoria própria

4.4.1 Tempo de retorno de investimento (*payback*):

Para avaliar em quanto tempo será realizado o *payback*, primeiramente levantaremos as condições tarifárias contratadas pela fábrica apresentadas na Tabela 12.

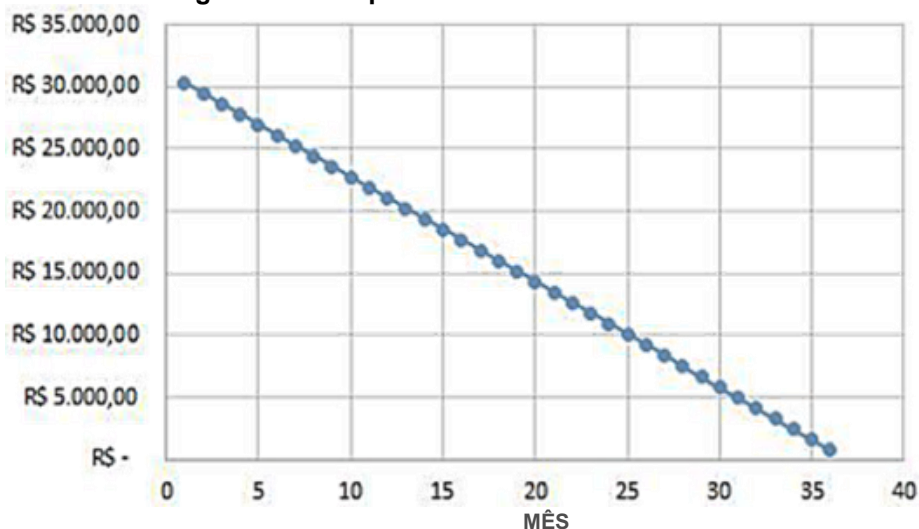
Tabela 12 - Valor tarifário contratado

	Valor da tarifa R\$
Energia elétrica fora da ponta	0,07979
Energia elétrica na ponta	0,85456

Fonte: Autoria própria

O tempo de uso em horário de ponta será de 3 horas, e o uso fora do horário de ponta será de 11 horas. Sendo 80 a quantidade de luminárias indicadas pelo *software*, e o valor unitário da luminária AL1-128 de 365,52 reais, o custo total do investimento será de R\$ 29.242,00, apresentando um *payback* simples de 36 meses na Figura 14. Verificando o uso das luminárias, dentro e fora da ponta, no período indicado de 36 meses, o total de horas de uso é 10080 horas, valor inferior às 50000 horas de vida útil da luminária, provando-se a viabilidade do projeto.

Figura 14 - Tempo de retorno do investimento.



Fonte: Autoria própria

4.5 VERIFICAÇÃO COM OUTRAS LUMINÁRIAS

Para verificar se o *payback* da luminária escolhida é o melhor, fez-se uma comparação com outras luminárias indicadas para a mesma aplicação, galpão industrial. Tais luminárias foram simplesmente denominadas como “A, B, C, D e E” neste documento.

A princípio foram levantados os dados básicos de cada luminária, isto é, a sua potência, seu fluxo luminoso, sua temperatura da cor e o seu índice de reprodução de cor (IRC), e esses dados foram inseridos na Tabela 13:

Tabela 13 - Características das luminárias para comparação

Código	Pot. (W)	Fluxo lum. (lm)	IRC (%)	PESO (kg)	Temp. cor (K)
A	120	15000	>80	3,8	5000
B	150	18000	>80	5,1	3000
C	128	16000	>80	4,4	5000
D	128	15000	>80	2,7	5000
E	128	16000	>80	3,7	5000
AL1-128	128	16000	>80	2,5	5000

Fonte: Autoria própria

Após a obtenção dos dados citados na Tabela 13, realizou-se para todas as luminárias os mesmos cálculos luminotécnicos feitos na luminária AL1-128, chegando à quantidade necessária de cada luminária para suprir a necessidade da fábrica, conforme apresentado na Tabela 14.

Com o número total das luminárias, adquire-se o preço total do investimento:

Tabela 14 - Investimento por luminária

MARCA – TIPO Código	Valor da Luminária R\$	Nº de Luminárias	Valor investimento R\$
A	390,33	89	37472,05
B	476,68	74	38134,36
C	418,16	83	34707,55
D	372,26	89	35736,62
E	413,76	83	34342,04
AL1-128	365,52	83	30337,89

Fonte: Autoria própria

Para se chegar ao *payback* simplificado, necessita-se saber o quanto de economia cada luminária fornecerá em relação às luminárias atuais da fábrica. Com o mesmo processo já demonstrado no Item 4.4 deste documento, chega-se aos seguintes dados na Tabela 15:

Tabela 15 - Consumo por luminária

MARCA – TIPO Código	Dif. De Pot. C/ Atual (W)	Consumo Ponta (kWh)	Consumo fora Ponta (kWh)
A	12780	38,34	140,58
B	12360	37,08	122,10
C	12836	38,51	116,86
D	12068	36,20	125,31
E	12836	38,51	116,86
AL1-128	12836	38,51	116,86

Fonte: Autoria própria

Dividindo o valor do investimento com o valor total economizado, tem-se o tempo necessário, em meses, para o *payback* apresentado na Tabela 16:

Tabela 16 - Payback por luminária

MARCA – TIPO Código	Valor investimento	Valor economizado Mensal R\$	Pay Back Simples Meses
A	37472,05	879,61	46
B	38134,36	828,59	48
C	34707,55	844,64	42
D	35736,62	818,74	46
E	34342,04	844,64	41
AL1-128	30337,89	844,64	36

Fonte: Autoria própria

Observa-se, na Tabela 17 que apresenta o comparado da vida útil das luminárias e os valores de uso até o fim do *payback*, que para todos os casos o tempo de uso da luminária não ultrapassa o tempo de vida útil da mesma, tornando todas as luminárias aptas à aplicação no projeto.

Tabela 17 - Horas de uso até *payback*

Marca - Tipo - Código	Vida útil (h)	Horas de uso até o <i>payback</i>
A	80000	12880
B	80000	13440
C	80000	11760
D	50000	12880
E	50000	11480
AL1-128	50000	10080

Fonte: Autoria própria

Contudo ao verificar as condições pontuais da luminária usada no projeto, a AL1-128 apresenta o melhor cenário de aplicação devido ao seu baixo custo e tempo de retorno de investimento.

5 CONCLUSÃO

A falta de uma iluminação adequada pode ser altamente prejudicial à um ambiente de trabalho, seja por riscos de acidentes, baixa produtividade, ou desconforto visual. Esse documento demonstrou a importância de uma análise periódica dos níveis de iluminância, que podem cair ao longo do tempo, seja por fatores ambientais como fuligem e/ou sujeira, ou seja por fatores técnicos, como vida útil das luminárias.

Com o projeto luminotécnico aqui calculado, os níveis de iluminância constatados na fábrica estudada voltarão a estar dentro da norma ABNT ISO/CIE 8995-1/2003, entregando um ambiente adequado para o trabalho e confortável visualmente. Além disso, o projeto luminotécnico também indica uma melhora na eficiência energética da fábrica, gerando uma redução no consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, nos custos envolvidos com o mesmo.

Este documento também comprovou a eficiência do uso de *softwares* que auxiliam no planejamento de projetos luminotécnicos. O método utilizado para o cálculo do número de luminárias foi o método das eficiências, chegando à um resultado de, aproximadamente, 83 luminárias - conforme demonstrado no item 4.2.1 - valor próximo às 80 luminárias propostas pelo *software*, de acordo com o item 4.3.

Para o futuro, espera-se que este projeto seja implementado na fábrica estudada, comprovando a eficiência do método utilizado, e que seja criado um plano de manutenção luminosa, visando a análise e a manutenção periódica dos níveis de iluminância. Também há a possibilidade de se expandir a ideia desse projeto para outros setores da fábrica, isto é, realizar um projeto luminotécnico para cada ambiente, buscando uma melhora na eficiência energética da fábrica como um todo, e o iluminamento adequado em todos os setores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413. **Iluminância de interiores**. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5463. **Iluminação (Terminologia)**.1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5382. **Verificação de Iluminância de Interiores – Método de ensaio**.1985.

ALMEIDA, R.J.S. **Influência da Iluminação Artificial nos ambientes de produção: Uma Análise Econômica** Gráfica UFOP. 2003.

ALVES, L.F.R. **Projetos de Iluminação**. Gráfica UFOP, 2001.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DIALUX - **Software De Simulação DIALUX - Informações básicas**. <<https://www.dial.de/de/dialux/>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2019.

ELEKTRO, **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. 1. Ed. Campinas: 2012

KANDEL, E. R. **Em busca da memória**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

LUMICENTER. **Reprodução de cores: Métodos de avaliação das fontes luminosas** <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/reproducao-de-cores-irc-e-tm-30/>> ,2017 acesso em 20 de julho de 2019.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 2006. Disponível:<<http://www.osram.com.br/download/manual/MANUAL.PDF>> Acesso em 11 de agosto de 2019.

PALUZZO, Genilson V. **Payback**. 2015. 21f. Notas de aula de Engenharia Econômica, Campo Mourão, 2015.

PROCEL. **Manual de Iluminação** – Disponível em: <www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-4b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154>. Acesso em 13 de agosto de 2019.

PRATES, W. R. **Qual a diferença entre *payback* simples e descontado?** –2016 - Disponível em <<https://www.wrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/>> Acesso em 02 de novembro de 2019.

ANEXO A – LUMINÁRIA USADA

Luminária LED AL1 - SOBREPOR

Eficiência & Design
Linha Comercial / Industrial

CORPO EM ALUMÍNIO EXTRUSADO - ALTO DESEMPENHO TÉRMICO - MAIOR VIDA ÚTIL



Kit gancho acompanha o produto.

Luminária LED AL1 - SOBREPOR

POTÊNCIA	CÓDIGO	Difusor Transparente		Difusor Leitoso		DIMENSÕES (mm)	PESO
		LUMENS	LM / W	LUMENS	LM / W		
32W	AL132	4.800lm	150	4.400lm	138	L 115 x C 1050 x A 50	1,3kg
50W	AL150	6.800lm	136	6.120lm	122	L 115 x C 1050 x A 50	1,3kg
64W	AL164	8.400lm	131	7.500lm	117	L 115 x C 1050 x A 50	1,3kg
80W	AL180	10.000lm	125	8.800lm	110	L 115 x C 1050 x A 50	1,3kg
100W	**AL1100	13.000lm	130	11.800lm	118	L 115 x C 1950 x A 50	2,5kg
128W	**AL1128	16.000lm	125	14.500lm	113	L 115 x C 1950 x A 50	2,5kg

**Disponível apenas na versão difusor interno (curvo recuado)



Consulte outras opções de TCC

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Corpo em alumínio
 Difusor: - versão interno em acrílico transparente
 - versão externo plano PMMA semi leitoso
 Chip LED e driver de alta eficiência.
 Pintura epóxi-poliéster na cor branca ou preta
 Temp. de cor 4000K, 5000K e 5700K
 Temperatura de Operação -20 °C a +45 °C

CODIFICAÇÃO

CODIGO/POTÊNCIA	FIXAÇÃO	DIFUSOR	COR LED	COR LUM.	PLUQUE SP
AL1128	G [Gancho]	TI (Transp. Interno) TE (Transp. Externo) LI (Leitoso Interno) LE (Leitoso Externo)	40 [4000K] 50 [5000K] 57 [5700K]	B [branca] P [preta]	S [Sim] N [Não]

ANEXO B – ÍNDICE LOCAL USADO








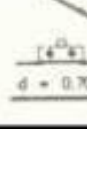
Tabela 18 -- Índice Local

		Altura do teto em metros										
		2,75	3,00	3,70	4,30	5,20	6,40	7,60	9,50	11,30		
Para iluminação indireta		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
e semi-indireta		2,90	3,50	4,10	5,00	6,00	7,30	9,00	11,00	15,30		
		Distância do chão ao foco luminoso em metros										
		2,15	2,45	2,75	3,00	3,70	4,30	5,20	6,40	7,60	9,50	11,30
Para iluminação direta		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
e semi-direta		2,30	2,60	2,90	3,50	4,10	5,00	6,00	7,30	9,00	11,00	15,00
Largura do local (metros)	Comp. do local (metros)	Índice do local										
2,75 (2,60-2,75)	2,50- 3,00	H	I	J	J							
	3,00- 4,30	H	I	I	J							
	4,30- 6,00	G	H	I	J	J						
	6,00- 9,00	G	G	H	I	J	J					
	9,00-13,00 13,00 ou mais	F	G	H	I	J	J	J				
3,00 (2,90-3,20)	3,00- 4,30	G	H	I	J	J						
	4,30- 6,00	G	H	I	J	J						
	6,00- 9,00	F	G	H	I	J	J					
	9,00-13,00	E	F	G	H	I	J	J				
	13,00-18,30 18,30 ou mais	E	F	G	H	H	I	J	J			
3,70 (3,40-3,80)	3,00- 4,30	G	H	I	I	J	J					
	4,30- 6,00	F	G	H	I	J	J					
	6,00- 9,00	F	G	G	H	I	J	J				
	9,00-13,00	E	F	G	H	I	J	J	J			
	13,00-18,30 18,30 ou mais	E	F	F	G	H	I	J	J	J		
4,30 (4,00-4,70)	4,30- 6,00	F	G	H	H	I	J	J				
	6,00- 9,00	E	F	F	G	H	I	J	J			
	9,00-13,00	E	F	F	G	H	I	J	J	J		
	13,00-18,30	E	E	F	F	H	I	J	J	J	J	
	18,30-27,50 27,50 ou mais	D	E	E	F	G	H	J	J	J	J	J
5,20 (4,90-5,65)	4,30- 6,00	E	F	G	H	I	J	J				
	6,00- 9,00	E	F	F	G	H	I	J	J			
	9,00-13,00	D	E	F	G	H	H	I	J	J		
	13,00-18,30	D	E	E	F	G	G	I	J	J	J	
	18,30-35,00 35,00 ou mais	D	E	E	F	G	G	I	J	J	J	J
6,00 (5,80-6,60)	6,00- 9,00	D	E	F	G	H	I	J	J	J		
	9,00-13,00	D	E	E	F	G	H	I	J	J	J	
	13,00-18,30	D	D	E	E	F	G	I	J	J	J	J
	18,30-27,50	C	D	E	E	F	G	H	I	J	J	J
	27,50-43,00 43,00 ou mais	C	D	D	E	F	F	H	H	I	I	J
7,30 (6,70-7,90)	6,00- 9,00	D	E	E	F	G	H	I	J	J		
	9,00-13,00	C	D	E	F	G	G	I	J	J	J	
	13,00-18,30	C	D	D	E	F	F	H	I	J	J	J
	18,30-27,50	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J	J
	27,50-43,00 43,00 ou mais	C	C	D	E	E	F	G	H	I	I	J
9,00 (8,25-10,00)	9,00-13,00	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	
	13,00-18,30	C	C	D	D	F	F	H	H	I	J	J
	18,30-27,50	B	C	C	D	E	E	G	H	H	I	J
	27,50-43,00	B	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J
	43,00-55,00 55,00 ou mais	B	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J
11,00 (10,40-11,90)	9,00-13,00	B	C	D	E	F	F	H	I	I	J	J
	13,00-18,30	B	C	C	D	E	E	F	H	H	J	J
	18,30-27,50	A	C	C	C	E	E	F	H	H	I	J
	27,50-43,00	A	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J
	43,00-60,00 60,00 ou mais	A	B	C	C	D	E	F	F	G	H	I
12,80 (12,20-13,70)	13,00,18,30	A	B	C	C	E	F	G	H	I	I	J
	18,30-27,50	A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	27,50-43,00	A	B	B	C	D	D	E	F	G	H	J
	43,00-60,00	A	A	B	C	D	D	E	F	G	H	I
	60,00 ou mais	A	A	B	C	D	D	E	F	F	G	I
15,30 (14,00-16,80)	13,00-18,30	A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	18,30-27,50	A	A	B	C	C	D	D	F	F	H	J
	27,50-43,00	A	A	A	C	C	D	E	F	F	G	I
	43,00-60,00	A	A	A	C	C	D	E	E	F	G	I
	60,00 ou mais	A	A	A	C	C	D	E	E	F	G	H
18,30 (17,30-20,45)	18,30-27,50	A	A	A	B	C	D	F	F	G	H	I
	27,50-43,00	A	A	A	B	C	C	D	E	F	G	H
	43,00-60,00	A	A	A	B	C	C	D	E	E	F	H
	60,00 ou mais	A	A	A	B	C	C	D	E	E	F	H
23,00 (20,75-27,50)	18,30-27,50	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G	I
	27,50-43,00	A	A	A	A	B	C	D	D	E	F	H
	43,00-60,00	A	A	A	A	B	B	C	D	E	F	G
	60,00 ou mais	A	A	A	A	B	B	C	C	D	E	G

Fonte: ALVES (2001)

ANEXO C – COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO USADO

Tabela 19 - Coeficiente de utilização

Luminária	Teto		75%			50%			Descrição
	Paredes		50%	30%	10%	50%	30%	10%	
	Índice do local		Coeficientes de utilização						
 <p>1</p>	J		.09	.07	.06	.07	.05	.04	Saoca com lâmpadas fluorescentes. A distância da saoca para o teto deve ser de 30 a 50cm.
	I		.13	.10	.08	.09	.07	.06	
	H		.16	.13	.10	.10	.09	.07	
	G		.20	.16	.14	.13	.11	.10	
	F		.21	.19	.17	.15	.13	.11	
	E		.25	.22	.20	.17	.15	.14	
	D		.28	.26	.24	.20	.19	.17	
	A		.35	.34	.32	.24	.23	.23	
 <p>2</p>	J		.32	.25	.20	.30	.24	.20	Calha chanfrada Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 1,0.
	I		.40	.32	.27	.38	.31	.26	
	H		.47	.39	.34	.44	.36	.32	
	G		.53	.46	.40	.50	.44	.39	
	F		.58	.51	.45	.55	.49	.44	
	E		.64	.58	.52	.61	.56	.51	
	D		.68	.62	.58	.65	.60	.56	
	A		.72	.66	.62	.68	.64	.60	
 <p>3</p>	J		.22	.17	.14	.21	.18	.14	Aparelho com difusor de plástico Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 1,1.
	I		.27	.22	.19	.26	.22	.19	
	H		.32	.27	.23	.30	.26	.23	
	G		.36	.31	.26	.34	.30	.27	
	F		.39	.34	.31	.37	.33	.30	
	E		.43	.38	.36	.41	.37	.35	
	D		.46	.42	.39	.43	.40	.38	
	A		.52	.49	.46	.50	.46	.44	
 <p>4</p>	J		.29	.24	.21	.28	.24	.21	Refletor com difusor de plástico Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 0,9.
	I		.35	.31	.27	.34	.30	.27	
	H		.39	.35	.32	.38	.35	.32	
	G		.43	.39	.36	.42	.39	.38	
	F		.46	.42	.39	.45	.42	.39	
	E		.49	.46	.43	.48	.46	.43	
	D		.51	.48	.46	.50	.48	.46	
	A		.55	.54	.52	.55	.53	.52	
 <p>5</p>	J		.25	.21	.18	.25	.21	.18	Aparelho para embutir, com almofada Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 1,0.
	I		.31	.27	.24	.31	.27	.24	
	H		.35	.31	.28	.35	.31	.28	
	G		.40	.36	.33	.39	.36	.33	
	F		.43	.39	.36	.42	.39	.39	
	E		.46	.43	.40	.46	.43	.40	
	D		.49	.46	.43	.48	.46	.43	
	A		.54	.53	.51	.54	.52	.51	
 <p>6</p>	J		.27	.23	.21	.27	.23	.21	Refletor parabólico duplo para 2 lâmpadas fluorescentes. Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 0,9.
	I		.32	.29	.26	.32	.28	.26	
	H		.36	.33	.30	.35	.32	.30	
	G		.39	.36	.34	.38	.36	.34	
	F		.42	.39	.37	.41	.38	.36	
	E		.44	.42	.40	.44	.42	.40	
	D		.46	.44	.42	.45	.44	.42	
	A		.50	.49	.48	.49	.48	.47	
 <p>7</p>	J		.33	.28	.24	.33	.28	.24	Luminária industrial do tipo Miller. Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 1,0.
	I		.43	.36	.32	.41	.35	.31	
	H		.49	.43	.38	.47	.42	.36	
	G		.56	.49	.45	.53	.48	.43	
	F		.60	.54	.50	.57	.53	.49	
	E		.66	.61	.58	.63	.59	.55	
	D		.69	.65	.61	.66	.63	.59	
	A		.78	.76	.73	.75	.73	.71	
 <p>B</p>	J		.20	.16	.13	.20	.16	.13	Aparelho para embutir, com difusor de plástico Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem x 1,0.
	I		.25	.21	.16	.24	.20	.18	
	H		.28	.24	.22	.27	.24	.21	
	G		.32	.28	.25	.31	.27	.25	
	F		.34	.30	.28	.33	.30	.28	
	E		.37	.34	.32	.36	.33	.31	
	D		.39	.36	.34	.38	.36	.34	
	A		.43	.42	.41	.43	.41	.40	

Fonte: Alves (2001)

ANEXO D – NOTA TÉCNICA Nº224/2014



Secretaria de Inspeção do Trabalho
Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho
Coordenação-Geral de Normatização e Programas

NOTA TÉCNICA Nº ²²⁴ /2014/CGNOR/DSST/SIT

Assunto:	Item 17.5.3.3 da NR17 – Ergonomia. Níveis mínimos de iluminação. Cancelamento da NBR 5413.
Interessado:	DSST/SIT

I – Introdução

Trata-se de análise realizada pela Coordenação-Geral de Normatização e Programas em razão de diversos questionamentos que tem sido feitos em relação ao procedimento a ser adotado para avaliação dos níveis de iluminação dos locais de trabalho frente ao cancelamento da NBR 5413/1992, norma técnica citada no item 17.5.3.3 da Norma Regulamentadora nº 17 (NR17) - Ergonomia.

II – Da Análise

Em relação à iluminação nos locais de trabalho, a NR17 dispõe que:

17.5.3. Em todos os locais de trabalho deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.

17.5.3.1. A iluminação geral deve ser uniformemente distribuída e difusa.

17.5.3.2. A iluminação geral ou suplementar deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos.

17.5.3.3. Os níveis mínimos de iluminação a serem observados nos locais de trabalho são os valores de iluminâncias estabelecidos na NBR 5413, norma brasileira registrada no INMETRO.

17.5.3.4. A medição dos níveis de iluminação previstos no subitem 17.5.3.3 deve ser feita no campo de trabalho onde se realiza a tarefa visual, utilizando-se de luxímetro com fotocélula corrigida para a sensibilidade do olho humano e em função do ângulo de incidência.

17.5.3.5. Quando não puder ser definido o campo de trabalho previsto no subitem 17.5.3.4, este será um plano horizontal a 0,75m (setenta e cinco centímetros) do piso.

Ocorre que a NBR 5413 – Iluminância de Interiores, assim como a NBR 5382:1985 – Verificação da Iluminância de interiores – método de ensaio, foram canceladas, ficando prejudicado o cumprimento do item 17.5.3.3 uma vez que norma ABNT foi cancelada.

Ao mesmo tempo, a ABNT editou a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de Ambientes de Trabalho, Parte 1: Interior – fazendo com que inúmeros questionamentos fossem feitos no sentido de arguir se o cumprimento da nova norma ABNT passaria a ser a exigência para o atendimento do item 17.5.3.3.

Importante ressaltar que a NBR 8995 traz novos requisitos de qualidade para sistemas de iluminação: índice de ofuscamento unificado (UGR) e índice de reprodução de cor (Ra), além do nível de iluminância mantido (existente na norma NBR 5413).

A verificação in loco do UGR em instalações existentes é bastante complicada, uma vez que não são feitas medições in loco como no caso da iluminância. Para verificar a concordância do UGR e Ra devem ser avaliadas as especificações dos equipamentos utilizados na instalação. No caso do índice de reprodução de cores, isto é feito analisando a referência da(s) lâmpada(s) utilizada(s) e comparando com a especificação de catálogo do fornecedor das lâmpadas. Existem também equipamentos específicos para essa medição (chroma meters), porém, ainda não usuais no mercado.

No caso do UGR, a informação deveria vir do fornecedor de luminárias. Porém, como o mercado ainda está se adaptando a nova norma ABNT, que não é de cumprimento obrigatório, diferentemente da NRs, pouquíssimos fornecedores de luminárias fornecem esta informação.

Face ao exposto, resta evidenciado que a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 está voltada para projetos de iluminância, não deixando clara de que forma deve ser utilizada para atender os requisitos vigentes da NR17, ou seja, de que forma que devem ser realizadas as avaliações em ambientes de trabalho já existentes.

Neste cenário, informa-se que o MTE já demandou a FUNDACENTRO para que seja elaborada uma Norma de Higiene Ocupacional – NHO sobre o tema, sendo que até que a mesma seja elaborada e publicada, os níveis de iluminamento a serem observados devem ser os contidos na NBR 5413/92, devendo ser utilizada para fins de avaliação o disposto na NBR 5382/85.

II – Conclusão

Face ao exposto, informa-se que para o cumprimento do item 17.5.3.3 devem ser observados os valores de iluminância previstos na ABNT NBR 5413:1992, bem como os métodos de avaliação estabelecidos na norma ABNT NBR 5382:1985.

Brasília, 22 de outubro de 2014.


Romulo Machado e Silva

Coordenador-Geral de Normatização e Programas

De acordo. Encaminhe-se à SFT.

Brasília, 29/10/2014.


Rinaldo Marinho Costa Lima

Diretor do Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho

De acordo. Divulgue-se.

Brasília, 04/11/2014.


Paulo Sérgio de Almeida
Secretário de Inspeção do Trabalho