
PROPOSTA DE PROJETO LUMINOTÉCNICO E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE UM GALPÃO DE 12.284 m²

RIBEIRO, Ari da Costa¹
ROSA, Willian da Silva²
FILHO, Carlos Roberto da Silva³
OLIVEIRA, Solange Alves Costa Andrade de⁴

RESUMO

Um local de trabalho com uma boa iluminação é mais do que oferecer apenas uma boa visualização da tarefa mas também oferecer um conforto visual e garantir que as atividades sejam realizadas mais facilmente. Desta maneira a iluminação deve satisfazer aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. O intuito deste trabalho é adequar um prédio de 12.284 m² à ABNT NBR 8995 que padroniza a iluminância de ambientes de trabalho. Um sistema de iluminação, normalmente não é considerado como a fonte de maior consumo de energia dentro de uma empresa de grande porte, mas seu controle pode garantir significativas reduções de gastos com energia, hoje com a tecnologia existente é possível automatizar esse processo.

Palavras-chave: Consumo de energia, Conforto visual, Processo, Iluminação, Controle.

ABSTRACT

A well-lit workplace is more than just providing a good view of the task but also providing visual comfort and ensuring that activities are carried out more easily. In this way, lighting must satisfy the quantitative and qualitative aspects required by the environment. The purpose of this work is to adapt a 12,284 m² building to ABNT NBR 8995 that standardizes the illuminance of work environments. A lighting system is normally not considered to be the source of the highest energy consumption within a large company, but its control can guarantee significant reductions in energy costs, today with existing technology it is possible to automate this process.

Keywords: energy consumption, visual comfort, process, lighting, control.

¹Ari da Costa Ribeiro Junior do Curso de Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário UNISOCIESC, aricrjunior@gmail.com; ²Willian Silva Rosa do Curso de Controle e Automação do Centro Universitário UNISOCIESC, williansilvarosa2011@hotmail.com; ³Carlos Roberto da Silva Filho: Mestre, Centro Universitário UNISOCIESC, carlos.silva@unisociesc.com; ⁴Solange Alves da Costa Andrade, Mestra, Centro Universitário UNISOCIESC, solange@unisociesc.com.br .

1 INTRODUÇÃO

Este artigo trata das etapas de desenvolvimento de cálculo luminotécnico e controle automatizado de iluminação, com o objetivo de padronizar o ambiente de trabalho conforme a NBR 8995 e garantir no processo sua eficiência energética dentro de um prédio de 12.284 m² como base a Norma ISO 50001(2011) para guiar o processo de gerenciamento.

No cálculo luminotécnico devem ser considerados as necessidades visuais, confortos, processos produtivos, utilização do ambiente, entre outros. O método dos lumens normalmente é utilizado para sistemas de iluminação em edificações e consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessário para determinada edificação ou parte dela, levando em consideração o tipo de atividade desenvolvida, as cores da parede e teto, além do tipo de lâmpada e luminária escolhida. (FERREIRA; BORELLI; GEDRA, 2015).

Ao se comparar o consumo de energia de uma empresa com o de uma residência, é de fato que ambientes de trabalho consomem mais eletricidade por na maioria dos casos possuem grandes processos consumidores de energia com por exemplo: máquinas elétricas, motores e fornos de indução, para a confecção do produto final. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018) o setor industrial segue sendo o maior consumidor, com quase 36% do total de consumo de energia elétrica na rede de distribuição nos últimos cinco anos, seguido do setor residencial, com cerca de 29%.

A ISO 50001 embasa a ideia de automação do sistema de iluminação do prédio. “A Iso 50001 fornece aos setores público e privado estratégias de gestão que aumentam a eficiência energética, reduzem custos e melhoram a performance de energia”. (FERREIRA; BORELLI; GEDRA, 2015).

O avanço tecnológico e a evolução de tecnologia de sensoriamento estão gerando significativos progressos ao desenvolvimento de aplicações da área de automação, como por exemplo permitindo a otimização e implantação no processo de gestão na eficiência energética como será apresentado no decorrer deste projeto.

Tendo como Objetivos Específicos:

- a) Proposta de melhoria da condição de trabalho com base na norma NBR 8995;
- b) Elaboração do cálculo luminotécnico;
- c) Simulação DIALUX;
- d) Apresentação da viabilidade do projeto de troca do sistema de iluminação;
- e) Programação CLP CODESYS;
- f) Desenvolvimento Supervisório E3;
- g) Apresentação da viabilidade do projeto de automação do sistema de iluminação proposto;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TIPOS DE LÂMPADAS

A iluminação de fábrica exige um estudo cuidadoso das diversas soluções possíveis, de forma a se escolher a mais econômica. Instalação econômica não quer dizer, necessariamente, a de menor custo inicial, pois aos custos de instalação deverão ser somados os de manutenção, reposição e energia elétrica consumida (MOREIRA, 1999).

Nas indústrias cujos galpões sejam de altura pequena (3 a 4 m), as lâmpadas fluorescentes são as mais indicadas. No caso de indústrias com galpões de alturas maiores (iluminação acima de 5 m do plano de trabalho), as lâmpadas de vapor de sódio ou iodeto metálico poderão ser indicadas.

Em casos de grandes alturas de montagem e onde não se dê importância ao fator reprodução de cores, deverá ser estudada a utilização das lâmpadas de vapor

de sódio de alta pressão, para a economia de energia elétrica e de manutenção. Geralmente os galpões industriais são locais com maior nível de poeiras e contaminantes, motivo pelo qual são preferíveis as luminárias fechadas e dotadas de filtro de carvão ativado. (MOREIRA, 1999, p. 118).

2.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

O ponto de partida para um projeto de iluminação é definir o nível de luz do ambiente, que leva em consideração as atividades que serão realizadas e o público a ser atendido. A norma brasileira ABNT NBR 8995 – Iluminância de interiores define a quantidade de lux necessária para diversos locais (PADILLA, 2010).

Os recintos industriais devem ser suficientemente iluminados a fim de obter o melhor rendimento possível na tarefa a executar. O nível de detalhamento das tarefas exige uma iluminação adequada para se ter uma percepção visual apurada. Um bom projeto de iluminação, em geral, requer a adoção dos seguintes pontos: nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica, distribuição espacial da luz para o ambiente, escolha da cor da luz para o ambiente, tipo de execução das paredes e pisos, iluminação de acesso, iluminação de emergência (SAMED, 2017).

Fatores como a área do recinto, altura do pé direito, existência de vigas de concreto etc. Influenciam na disposição e no alinhamento dos pontos de luz no campo de trabalho. Nos projetos de iluminação, deve-se sempre que as lâmpadas sejam instaladas em luminárias, as quais têm papel importante, porque, além de servirem de suporte para as lâmpadas, ainda auxiliam no controle e na distribuição da iluminação (SAMED, 2017).

Campo de trabalho é definido por região onde, para qualquer superfície nela situada, exigem-se condições de iluminância apropriadas ao trabalho visual a ser realizado. A iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não pode ser menor do que 70 % da iluminância média determinada, no restante do ambiente a iluminância não pode ser inferior a 1/10 da adotada para o campo de trabalho (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 18). A Tabela 1 a seguir apresenta a iluminância para setores da indústria de trabalhos em ferro e aço.

Tabela 1 - iluminância para setores das indústrias de trabalhos em aço o ferro

Setor	Iluminação Especificada (lux)
Instalações de produção com operação manual contínua	200
Fornos	200
Plataformas de controle, painéis de controle	300
Ensaio, medição e inspeção	500

Fonte: ABNT NBR 8995 (2014)

2.3 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Nos sistemas de iluminação, é possível automatizar os circuitos de lâmpadas por meio de controle de luminosidade, com a ajuda de sensores de iluminância, ocupação ou detecção, de maneira a oferecer informação ao sistema central de gerenciamento. Os sistemas de controle de iluminação geralmente utilizam comunicação em cabo de pares trançados blindados para ligar o sistema de iluminação ao controle ambiental, utilizando painéis transdutores, atuadores e sensores (PINHEIRO, 2016).

Nos projetos de iluminação industrial, existem diversos tópicos a serem considerados do ponto de vista energético. As oportunidades de economia estão presentes na escolha do conjunto lâmpadas e luminárias, na definição de sua altura de fixação, nos automatismos de comando, na distribuição dos circuitos elétricos, no aproveitamento da iluminação natural e na localização dos interruptores para atender às necessidades de iluminação do local e de seus usuários (DESTERRO, 2019).

3. DESENVOLVIMENTO

Este tópico trata das etapas de desenvolvimento do cálculo luminotécnico de um galpão empresarial de 12.284 m² com o intuito de adequar os setores deste galpão a norma NBR 8995 que padroniza a iluminação em diferentes campo de trabalho e também a NR 17 que define que todos os locais de trabalho devem haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.

3.1 PROPOSTA DE MELHORIA DA CONDIÇÃO DE TRABALHO COM BASE NA NORMA NBR 8995

Para início de projeto foi necessário realizar um estudo sobre a atual característica de iluminação do galpão. Os resultados encontrados pode ser observados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Características de iluminação do galpão estudado

Tipo da lâmpada		Lâmpada Fluorescente Tubular T5 54w
Vida média da lâmpada	H	20000
Quantidade do conjunto de lâmpadas + luminárias	UNI.	600
Potência do conjunto lâmpada + luminária	W	64
Potência total instalada	KW	38,4
Tempo de uso mensal (horas/dia x dia/mês)	H/MÊS	624
Consumo mensal de kWh	KW/MÊS	31948,8
Durabilidade média da lâmpada nesta aplicação	MESES	32
Preço do conjunto lâmpada + luminária	R\$	R\$ 100,00
Preço de acessórios para cada lâmpada (ganchos de elevação)	R\$	R\$ 10,52
Custo do consumo mensal de energia	R\$	R\$ 15.024,09

Fonte: Os autores(2020)

Com o auxílio de um luxímetro foi realizada a medição do fluxo luminoso (Lux) em diferentes pontos do galpão. A Tabela 3 abaixo apresenta os valores encontrados nas medições realizadas.

Tabela 3 - luminosidade em relação a hora do dia de trabalho

SETOR	LUMINOSIDADE EM RELAÇÃO A HORA DO DIA DE TRABALHO (LUX) DIA 26/10/2020													
	05:20	07:10	10:20	12:20	14:20	16:20	18:30	20:20	22:00	23:20	01:20	02:20	03:10	04:20
PONTO 1	107	400	403	1410	652	265	148	107	119	115	89	92	98	105
PONTO 2	89	378	374	1210	690	148	90	61	78	76	72	84	88	100
PONTO 3	42	270	371	1320	860	280	155	62	54	53	55	60	67	89
PONTO 4	21	270	335	1280	722	262	108	35	27	35	70	74	81	96
PONTO 5	62	356	387	1282	712	308	150	67	78	52	30	36	47	68

SETOR	LUMINOSIDADE EM RELAÇÃO A HORA DO DIA DE TRABALHO (LUX) DIA 27/10/2020													
	06:20	08:20	10:40	12:20	14:00	16:20	18:20	20:20	22:20	23:20	01:20	02:20	03:10	04:20
PONTO 1	191	773	423	1420	305	427	107	74	75	75	82	78	97	102
PONTO 2	208	790	394	1493	363	167	70	61	62	60	77	85	85	94
PONTO 3	121	815	415	1641	290	168	70	52	54	55	62	88	93	101
PONTO 4	107	946	403	1726	267	162	37	45	36	38	45	57	69	78
PONTO 5	124	996	397	1535	290	185	79	76	65	71	85	86	102	97

Fonte: Os autores(2020)

Conforme citado anteriormente, a quantidade de fluxo luminoso ideal para o galpão pelas atividades em si realizadas seria entre 200 a 500 lux, analisando a Tabela acima pode-se observar que na maior parte do dia o galpão se encontra com a quantidade de iluminância muito abaixo do ideal para as atividades exercidas. Mesmo com todas as lâmpadas do galpão acesas não se obtem o valor correto de luminosidade especificado pela ABNT NBR 8995 pois, na construção do galpão o quesito iluminação não foi dimensionado corretamente, não houve um calculo luminotécnico para decidir a luminária ideal para um pé direito elevado in loco pode-se notar tambem que algumas lâmpadas do galpão estão queimadas. Exercer atividades nessas condições durante um grande período de tempo pode gerar um certo desconforto visual diminuindo assim o nivel de produção do setor, afetar a qualidade de visão do trabalhador a longo prazo e também afetar a qualidade do

produto produzido. A Tabela 4 abaixo mostra a iluminância média geral do galpão estudado.

Tabela 4 - luminosidade média em relação a hora do dia de trabalho

SETOR	LUMINOSIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO A HORA DO DIA DE TRABALHO (LUX) DIA 26/10/2021													
	05:20	07:10	10:20	12:20	14:20	16:20	18:30	20:20	22:00	23:20	01:20	02:20	03:10	04:20
PONTO 1	140	575,5	398,5	1315	497,5	287,5	98,5	67,5	76,5	75,5	77	81	92,5	101
PONTO 2	125	530	382,5	1406,5	611,5	223,5	112,5	61,5	58	56,5	66	72,5	76	91,5
PONTO 3	71	542,5	375	1460,5	506	215	89	43,5	40,5	45	66	81	87	98,5
PONTO 4	84,5	651	395	1504	489,5	235	93,5	56	57	45	37,5	46,5	58	73
PONTO 5	62	498	198,5	767,5	145	92,5	39,5	38	32,5	35,5	42,5	43	51	48,5

SETOR	LUMINOSIDADE MÉDIA EM RELAÇÃO A HORA DO DIA DE TRABALHO (LUX)													
	05:20	07:10	10:20	12:20	14:20	16:20	18:30	20:20	22:00	23:20	01:20	02:20	03:10	04:20
GALPÃO	96,5	559,4	349,9	1290,7	449,9	210,7	86,6	53,3	52,9	51,5	57,8	64,8	72,9	82,5

Fonte: Os autores(2020)

Vale ressaltar que a luminosidade dentro do galpão só é existente pois o mesmo foi construído com telhas translúcidas tornando possível assim a transposição da luz do sol para o interior do galpão. Utilizando essa luz natural do interior do galpão pode-se automatizar o sistema de iluminação para controlar o consumo de energia provenientes a iluminação que hoje em dia é um dos fatores de maior consumo de energia em uma empresa juntamente com motores elétricos.

3.2 CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Empregando-se o método das eficiências para quantificar o número de luminárias e a iluminância para o recinto em questão foi elaborado um cálculo que desenvolve o passo a passo para adequar o galpão as especificações da ABNT NBR 8995, sendo utilizado 500 lux para todo o galpão com um índice de reflexão de 70/30/20.

Este cálculo teve como objetivo proporcionar a iluminação adequada para o ambiente de trabalho, evitar desconforto visual e evitar alto consumo de energia. Para o cálculo da iluminação do galpão foram utilizadas as seguintes informações:

Comprimento (a):	120,79 m
Largura (b):	101,70 m
Pé direito (H):	15 m
Plano de trabalho (hplano):	0,8 m

3.2.1 Determinação do Fator local

É a relação entre as dimensões do local com intuito de definir o plano a ser iluminado.

$$h = H - hplano \quad \dots(1)$$

$$h = 15 - 0,8 = 14,2$$

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad \dots(2)$$

$$K = \frac{120,79 \cdot 101,70}{14,2 \cdot (120,79 + 101,70)} = 3,888$$

3.2.2 Determinação do RCR

Uma vez calculado o índice do recinto (K) procura-se identificar o valor do RCR.

$$RCR = \frac{5}{k} \quad \dots(3)$$

$$RCR = \frac{5}{3,888} = 1,286$$

Valor calculado de K : **3,888**

Valor do RCR:

1,286

3.2.3 Determinação da Luminária

Para a determinação da luminária foi levado em conta o valor do pé direito do galpão que é 15 metros, com esse pé direito elevado seria necessário uma luminária com um fluxo luminoso alto, levando em conta esses itens acima a luminária escolhida foi a LHB08 – S22000840 da lumicenter iluminação.

A luminária escolhida nos proporciona 22300 lumens de fluxo luminoso, com uma potência de 185 W, 281 mm de largura, 1157 mm de comprimento e 43 mm de espessura. Na Figura 1 abaixo pode-se observar uma imagem da luminária escolhida e seu fator de utilização.

Figura 1 – luminária LHB08-S22000840 e seu fator de utilização



Teto (%)	70		50	30	0						
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
Chão (%)		20		20		20		20		0	
RCR		Fator de Utilização (%)									
0	116	116	116	111	111	111	111	106	106	106	100
1	103	100	97	99	96	94	95	93	91	86	
2	91	86	81	88	83	79	85	81	77	74	
3	81	74	69	78	72	67	76	70	66	63	
4	72	65	59	70	63	58	68	62	57	54	
5	65	57	51	63	56	51	61	55	50	47	
6	59	51	45	57	50	44	55	49	44	42	
7	53	45	40	52	45	40	51	44	39	37	
8	49	41	36	48	40	35	46	40	35	33	
9	45	37	32	44	37	32	43	36	32	30	
10	42	34	29	41	34	29	40	33	29	27	

Fonte: Lumicenter iluminação (2020)

Utilizando a Tabela de Fator de utilização da lâmpada, definimos nosso FU com o valor do RCR encontrado. Com esses dados, foi definido o número de luminárias no galpão e sua iluminância média pelas equações abaixo.

$$N_{lumin} = \frac{a*b*E}{\phi_{lumin}*Fu*Fd} \quad \dots(4)$$

Onde: E = iluminância desejada

ϕ_{Lumin} = fluxo total da luminária

Fu = fator de utilização

Fd = fator de depreciação, usado padrão de 0,8

$$N_{lumin} = \frac{a*b*iluminancia\ desejada}{\phi_{Lumin}*fu*fd} \quad \dots(5)$$

$$N_{lumin} = \frac{120,79 * 101,7 * 500}{22300 * 0,86 * 0,8} = 397,86$$

Número de luminárias calculado: **397,86**

Número de luminárias Definido: **400**

Após encontrar a quantidade de luminárias a ser utilizada através do cálculo do número de luminárias, pode ser definida a iluminância média do galpão em questão a partir da equação abaixo.

$$Im = \frac{N_{lumin}*\phi_{Lumin}*fu*fd}{a*b} \quad \dots(6)$$

$$\frac{400 * 22300 * 0,86 * 0,8}{120,79 * 101,70} = 499,58 \text{ LUX}$$

Luminância média alcançada: **499,58 lux**

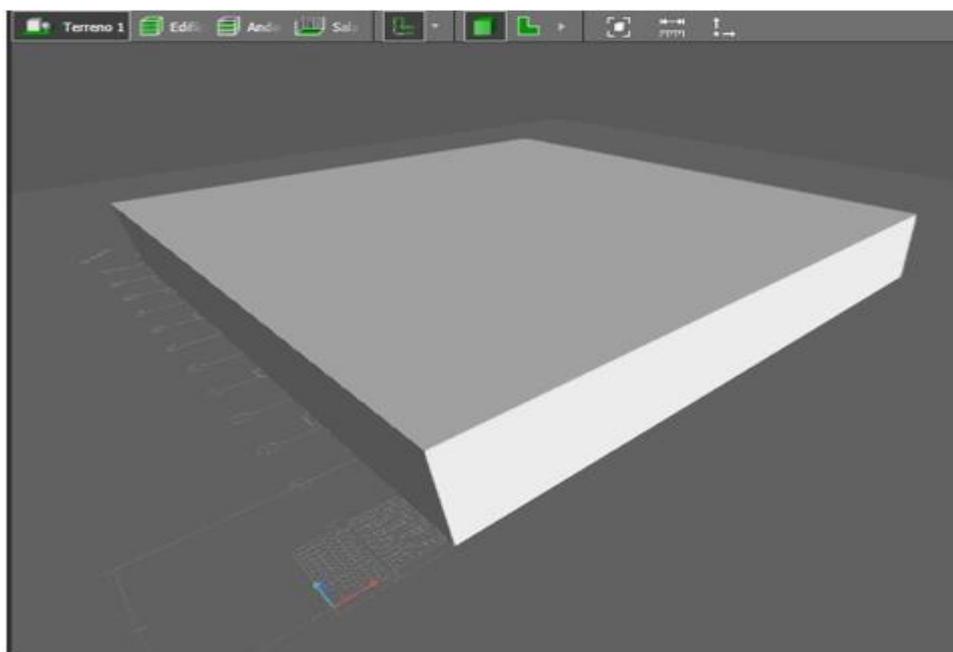
Com a realização dos cálculos acima foi definido que com 400 luminárias de 22300 lúmens em um galpão de 12.284 m² há uma média de 499,58 lux, tornando assim o galpão adequado a norma ABNT NBR 8995.

3.3 SIMULAÇÃO DIALUX

Após a realização do cálculo luminotécnico, deu-se início a simulação do projeto no Dialux Evo. O Dialux Evo é um software de simulação real dos efeitos de luz e sombra de forma interativa, possibilitando trabalhar de forma associativa, o sítio, o edifício e seus ambientes e as unidades isoladas. Ao contrário de muitos softwares de iluminação, o DIALux Evo é intuitivo, simples e acessível.

Para verificar a veracidade do cálculo realizado, foi projetado o galpão estudado no Dialux, dimensões, plano de trabalho e fator de depreciação foram fatores levados em conta na simulação, Os resultados podem ser vistos logo abaixo na Figura 2.

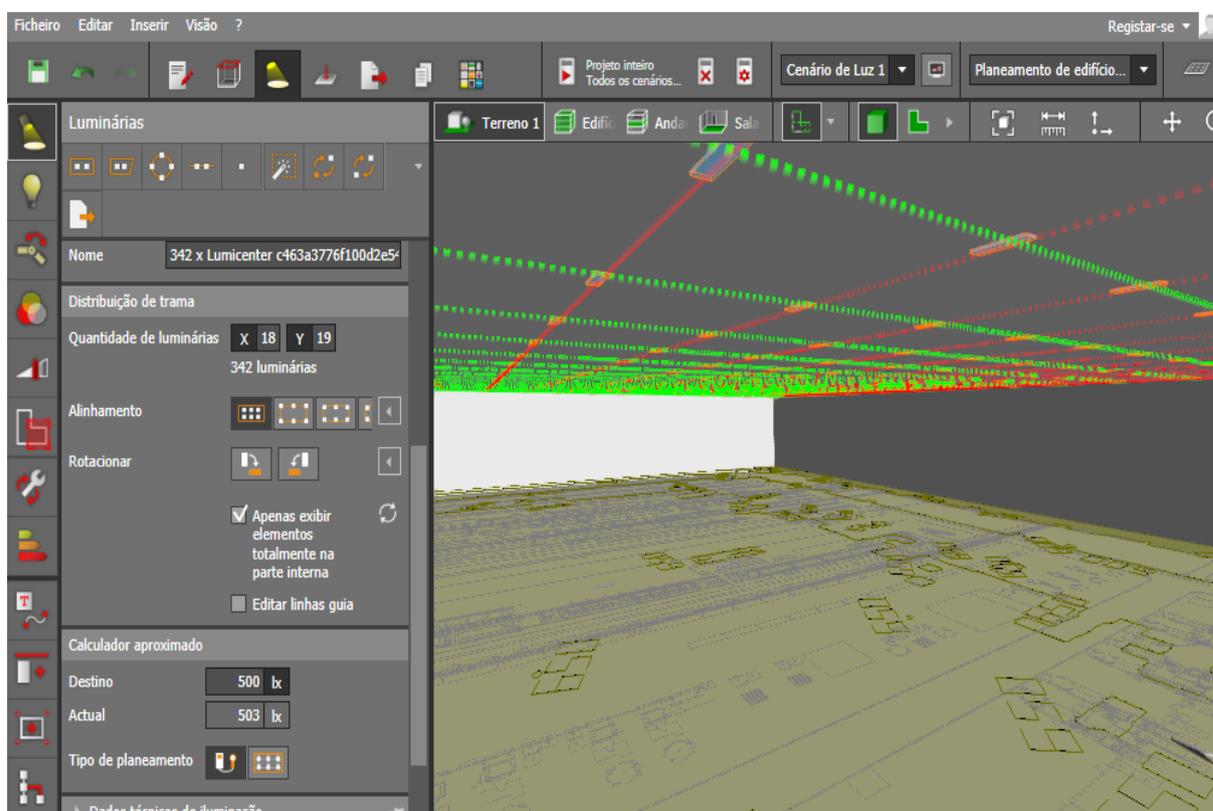
Figura 2 – Simulação Dialux



Fonte: Os autores(2021)

Após a montagem da construção do galpão foi selecionada a luminária pretendida (a mesma utilizada no cálculo luminotécnico acima) gerando assim a quantidade de luminárias utilizadas no galpão para atender o critério de aceitação da NBR 8995, como pode-se observar na Figura 3 abaixo o número de luminárias calculados x simulado foram bem próximas, em ambos os casos a luminância foi superior ao permitido (500 lux).

Figura 3 – Simulação de luminárias no Dialux



Fonte: Os autores(2021)

Comparando os resultados obtidos na simulação com os calculados, pode-se perceber que ambos resultados ficaram bem próximos, enquanto no calculado seria necessário a existencia de 400 lumináras para atingir o valor especificado de iluminância no simulado 342 luminárias ja atende ao que se pede. Para sequencia do projeto foi decidido utilizar 348 luminárias para manter uma faixa de iluminancia de trabalho segura.

3.4 APRESENTAÇÃO DA VIABILIDADE DA TROCA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Com todo o trabalho realizado até o momento é possível comparar o sistema atual com o sistema proposto e com isso realizar uma avaliação de custos levando em consideração os custos de investimento, custos operacionais e cálculo de rentabilidade.

Quando é dito custos de investimento, nada mais é do que a somatória dos custos de aquisição de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, tais como lâmpadas, luminárias, reatores, transformadores e a fiação, juntamente com os custos da mão de obra dos profissionais envolvidos desde a elaboração do projeto à instalação final. Para calcular os custos de investimento a equipe considerou o conjunto lâmpada + luminária como apenas “luminária” pelo fato do modelo escolhido e o existente no galpão serem comercializadas em conjunto. Também foi desconsiderado os gastos com reatores, transformadores e fiação pois, o galpão utilizado como modelo já possui toda a estrutura específica para receber a automação proposta. Já a mão de obra de profissionais envolvidos foi considerado um investimento de R\$ 20.000,00 para a troca de luminária já o processo de automação será realizada pelos profissionais assalariados da própria empresa em questão que possui toda a equipe necessária para a realização e implementação deste projeto, portanto os gastos com equipamento seriam apenas o que foi gasto com a compra das luminarias. A Tabela 5 abaixo apresenta os valores dos custos dos materiais descritos abaixo.

Tabela 5 – Custos de instalação

Tipo da lâmpada	Unidade	Lâmpada Fluorescente Tubular T5 54w	LHB08 – S22000840
Quantidade de luminárias	UNI.	600	348
Preço do conjunto lâmpada + luminária	R\$	R\$ 120,00	R\$ 362,53
Custo de equipamento para instalação	R\$	R\$ 72.000,00	R\$ 146.160,44

Fonte: Os autores(2021)

Os custos operacionais é a somatória de todos os custos apresentados após a completa instalação do sistema de iluminação, concentrado nos custos de manutenção das condições luminotécnicas do projeto e os custos de energia consumida. O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba os custos de aquisição de novas unidades, esse custo resulta da soma das horas mensais da utilização das lâmpadas dividida pela sua vida útil. A Tabela 6 apresenta os valores de custos operacionais.

Tabela 6 – Custos operacionais

Tipo da lâmpada	Unidade	Lâmpada Fluorescente Tubular T5 54w	LHB08 – S22000840
Quantidade de luminárias	UNI.	600	348
Potência do conjunto lâmpada + acessório	W	128	185
Potência total instalada (Qtd Lumin. x Potencia / 1000)	KW	153,6	128,76
Tempo de uso mensal Fora de Ponta (horas/dia x dia/mês)	H/MÊS	546	546
Tempo de uso mensal Ponta (horas/dia ponta x dia/mês)	H/MÊS	78	78
Consumo mensal de kWh Fora de Ponta (Potencia Tota x Tempo de uso)	H/MÊS	83865,6	70302,96
Consumo mensal de kWh Ponta (Potencia Tota x Tempo de uso)	KW/MÊS	11980,8	10043,28
Custo do consumo mensal de energia Fora de Ponta (0,49 x Consumo mensal)	R\$	R\$ 41.162,75	R\$ 34.505,96
Custo do consumo mensal de energia Ponta (1,67 x Consumo mensal)	R\$	R\$ 20.007,94	R\$ 16.772,28
Custo médio mensal de reposição das lâmpadas (Qtd Lumin. x Tempo de uso x Preço lumin. / Vida útil)	R\$	R\$ 3.276,00	R\$ 1.476,09

Somatório dos custos operacionais (Custo médio + Custo do consumo)	R\$	R\$ 44.438,75	R\$ 35.982,05
Diferença mensal entre custos operacionais	R\$	R\$ 8.456,70	

Fonte: Os autores(2021)

A análise comparativa de dois sistemas luminotécnicos, para se estabelecer qual deles é o mais rentável, leva em consideração tanto os custos de investimento quanto operacionais. Geralmente o uso de lâmpadas de melhor Eficiência Energética leva a um investimento maior, mas proporciona economia nos custos operacionais. Decorre daí a amortização dos custos, ou seja, há o retorno do investimento dentro de um dado período. O tempo de retorno é calculado pelo quociente da diferença no investimento pela diferença na manutenção. Feitos os cálculos, os valores podem ser alocados em Tabelas, como por exemplo o da Tabela 7.

Tabela 7 – Retorno de Investimento

Tipo da lâmpada	Unidade	Lâmpada Fluorescente Tubular T5 54w	LHB08 – S22000840
Quantidade de luminárias	UNI.	600	348
Custo de equipamento para instalação (Preço x Qtd Lumin. + Custo do projeto + instalação)	R\$	R\$ 72.000,00	R\$ 146.160,44
Diferença entre os custos de investimentos	R\$	R\$ 74.160,44	
Custo do consumo mensal de energia Fora de Ponta	R\$	R\$ 41.162,75	R\$ 34.505,96
Custo do consumo mensal de energia na Ponta	R\$	R\$ 20.007,94	R\$ 16.772,28
Custo do consumo mensal de energia	R\$	R\$ 61.170,68	R\$ 51.278,24

Custo médio mensal de reposição das lâmpadas	R\$	R\$ 3.276,00	R\$ 1.476,09
Somatório dos custos operacionais	R\$	R\$ 64.446,68	R\$ 52.754,33
Diferença mensal entre custos operacionais	R\$	R\$ 11.692,36	
Retorno de investimento	MESES	6,342643266	

Fonte: Os autores(2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após ter feito toda a comparação do sistema atual com o sistema proposto resta aplicar as características de automação nos resultados obtidos, com isso diminuir ainda mais o tempo de Payback e aumentar ainda mais a eficiência do galpão estudado.

Neste capítulo será abordada as etapas de automação do processo de automação da iluminação.

4.1 PROGRAMAÇÃO CLP CODESYS

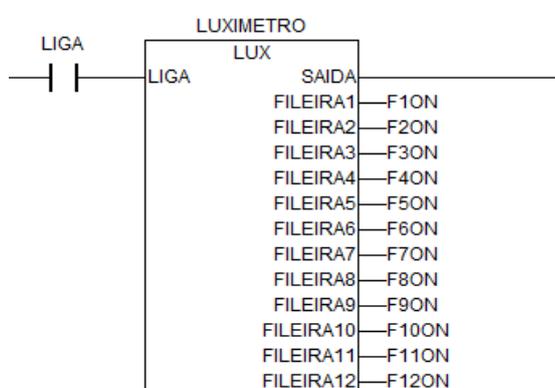
Pensando em economia de energia, foi desenvolvido um projeto de controle de iluminação do galpão a partir da quantidade de lux na área conforme os padrões da ABNT NBR 8995. Com essa informação foi desenvolvida uma programação para que a luminosidade que transpõem para o interior da fábrica a partir das telhas translúcidas seja utilizada como base para desligar ou ligar o sistema de iluminação

Para desenvolvimento da programação Clp foi escolhido uma plataforma de software para tecnologia de automação industrial chamada Codesys, nesta plataforma é possível programar Clp's nas linguagens de programação estabelecida pela parte três da IEC 61131 e também realizar uma visualização da programação desenvolvida

através de seu próprio supervisor. Para a realização da programação do projeto em questão foram utilizadas as linguagens Ladder (LD), Diagrama de blocos (FBD) e Texto estruturado (ST).

Para realizar determinado controle, no Codesys foi desenvolvida a programação de Clp onde um botão que estará no painel elétrico de controle de iluminação denominado LIGA é acionado passando assim a iniciar a leitura de lux na área com o auxílio de um Luxímetro ligado em uma das entradas do Clp. O passo descrito pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Programação CLP Ladder + Blocos (Function Block)



Fonte: Os autores(2021)

Dentro do bloco de função (Function Block) foi desenvolvida uma programação em ST que realiza a lógica das saídas (exemplo da programação em ST na Figura 5), determinando qual fileira de luminárias deve acender ou apagar dependendo da quantidade de lux do galpão, a lógica das saídas segue o seguinte padrão:

- a) LUX igual ou inferior a 100 – todas as lâmpadas acendem
- b) LUX entre 101 e 200 – fileiras 1, 3, 5, 7, 9 e 12 acendem
- c) LUX entre 201 e 300 – fileiras 1, 4, 7, 10, 12 acendem
- d) LUX entre 301 e 400 – fileiras 1, 5, 9, 12 acendem

- e) LUX entre 401 e 500 – fileiras 1, 6, 12 acendem
- f) LUX a partir de 501 todas as luzes do galpão ficarão apagadas

Figura 5 – Programação CLP Ladder + Blocos (Function Block)

```
IF(LUX <= 100) THEN
  SAIDA:=TRUE;
  FILEIRA1:=TRUE;
  FILEIRA2:=TRUE;
  FILEIRA3:=TRUE;
  FILEIRA4:=TRUE;
  FILEIRA5:=TRUE;
  FILEIRA6:=TRUE;
  FILEIRA7:=TRUE;
  FILEIRA8:=TRUE;
  FILEIRA9:=TRUE;
  FILEIRA10:=TRUE;
  FILEIRA11:=TRUE;
  FILEIRA12:=TRUE;
ELSE
  SAIDA:=FALSE;
  FILEIRA1:=FALSE;
  FILEIRA2:=FALSE;
  FILEIRA3:=FALSE;
  FILEIRA4:=FALSE;
  FILEIRA5:=FALSE;
  FILEIRA6:=FALSE;
  FILEIRA7:=FALSE;
  FILEIRA8:=FALSE;
  FILEIRA9:=FALSE;
  FILEIRA10:=FALSE;
  FILEIRA11:=FALSE;
  FILEIRA12:=FALSE;
END_IF
```

Fonte: Os autores(2021)

4.2 PROGRAMAÇÃO SUPERVISÓRIO E3

Para supervisionar o controle de iluminação criado, foi desenvolvido um supervisor para controle e aquisição de dados, nesse supervisor pode-se observar a quantidade de luminárias acesas no exato momento de acesso, é possível também analisar a quantidade de lux dentro e fora do galpão.

O software usado para desenvolvimento deste supervisor foi o Elipse E3, por ser o utilizado em algumas disciplinas na faculdade e também por possuir uma versão demo gratuita capaz de suprir todas as necessidades de programação de nosso projeto. A Figura 6 abaixo apresenta a tela inicial do supervisor desenvolvido.

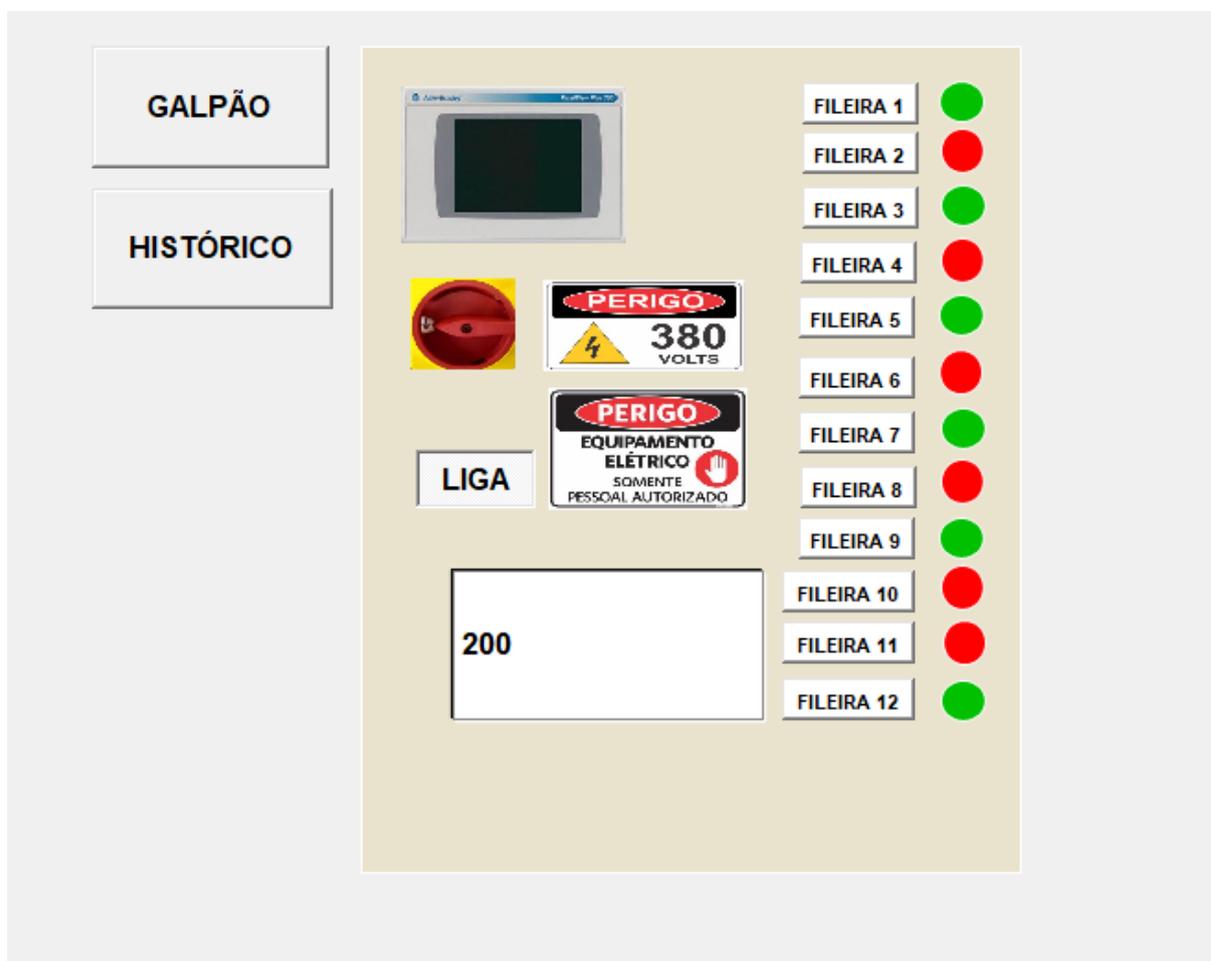
Figura 6 – Tela inicial do supervisório criado



Fonte: Os autores(2021)

A página inicial do supervisório possui dois botões denominados “Entrar” e “Histórico”, quando o botão entrar é acionado o operador do supervisório tem acesso a tela do painel onde é possível verificar a quantidade de luminárias ligadas, a quantidade de iluminação solar no galpão e também a quantidade de luminosidade existente no galpão portanto pode - se observar a luminosidade corrigida com as lampadas acesas ou se for o caso a quantidade de luminosidade que há no galpão com todas as lampadas apagadas com a luminosidade acima de 500 lux. Na Figura 7 abaixo pode-se observar a tela de controle de luminarias e luminosidade do galpão.

Figura 7 – Tela de controle de luminosidade de galpão



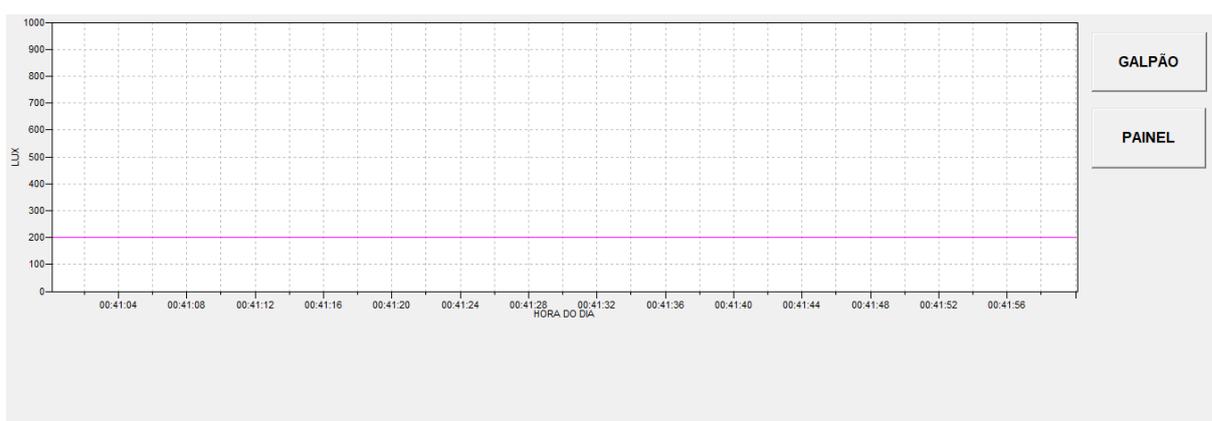
Fonte: Os autores(2021)

Outro botão existente no supervisório desenvolvido é o denominado “Galpão” que quando é acionado apresenta ao operador uma visualização das condições do galpão em tempo real como a quantidade de fileira de luminárias e quantidade de luminárias acesas no momento, é possível também observar a quantidade de lux existente no interior do galpão. A Figura 8 abaixo apresenta a tela galpão.

Figura 8 – Tela de controle visual de luminosidade de galpão

Fonte: Os autores(2021)

Para finalizar, o botão “histórico” permite ao operador acompanhar a variação da luminosidade ao decorrer de todo o dia de trabalho, e também acompanhar o consumo da potência gerada pela iluminação no galpão em tempo real. A Figura 9 a seguir apresenta a tela histórico.

Figura 9 – Tela histórico para controle de histórico de luminosidade no galpão

Fonte: Os autores(2021)

4.1 APRESENTAÇÃO DA VIABILIDADE DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO

Com base no levantamento da quantidade de lux existente no galpão durante o período de luz solar pode-se dimensionar a quantidade de luminária que estariam em funcionamento em determinado horário do dia. A Tabela 8 abaixo apresenta uma relação da hora do dia com a quantidade de luminárias ligadas. Como a luz solar é algo variável com o clima os resultados abaixo são calculados com erro do 30% no horário de funcionamento das lâmpadas.

Tabela 8 – Relação horário x luminosidade média x quantidade de luminárias

HORÁRIO	LUMINOSIDADE MÉDIA	QUANTIDADE DE LAMPADAS LIGADAS
05:20	96,5	350
07:10	559,4	0
10:20	349,9	116
12:20	1290,7	0
14:20	449,9	87
16:20	210,7	145
18:30	86,6	350
20:20	53,3	350
22:00	52,9	350
23:20	51,5	350
01:20	57,8	350
02:20	64,8	350
03:10	72,9	350
04:20	82,5	350

Fonte: Os autores(2021)

Analisando os resultados obtidos na Tabela e levando em consideração a programação CLP desenvolvida no CODESYS foi realizada uma distribuição da quantidade de luminarias por fileira, como o valor definido foi 348 luminárias e a infraestrutura do galpão possui 12 fileiras para a instalação de luminárias foi distribuído um total de 29 luminárias por fileira, com isso pode-se concluir que nos horários das 7 as 10 da manhã e das 12:20 as 14:20 da tarde todas as lampadas do galpão estão apagadas totalizando nesse período 5 horas de funcionando apenas com a luz solar.

Os horários entre 10 e 12:20 apenas 116 luminárias estão em funcionamento enquanto no horário entre 14:20 as 16:40 ocorre uma variação de 87 e 145 luminárias em funcionamento. A partir das 16:40 todas as luminárias existentes no galpão acendem. A partir da análise realizada conclui-se que a eficiência e a produtividade pode ser ainda maior no projeto de iluminação proposto. A Tabela 9 abaixo compara os valores do projeto proposto e o projeto proposto atualizado

Tabela 9 – Projeto de iluminação proposto x Projeto de iluminação proposto automatizado

Tipo da lâmpada	Unidade	Sistema Proposto	Sistema Proposto Automatizado
Quantidade de luminárias	UNI.	348	348
Tempo de uso mensal Fora de Ponta (horas/dia x dia/mês)	H/MÊS	546	338
Tempo de uso mensal Ponta (horas/dia ponta x dia/mês)	H/MÊS	78	78
Consumo mensal de kWh Fora de Ponta (Potencia Tota x Tempo de uso)	H/MÊS	70302,96	43520,88
Consumo mensal de kWh Ponta (Potencia Tota x Tempo de uso)	KW/MÊS	10043,28	10043,28
Durabilidade média da lâmpada nesta aplicação (Vida útil da lâmpada / (Tempo de uso mensal na ponta + tempo de uso mensal fora de ponta))	MESES	112	168
Custo do consumo mensal de energia Fora de Ponta (0,49 x Consumo mensal)	R\$	R\$ 34.505,96	R\$ 21.360,83
Custo do consumo mensal de energia Ponta (1,67 x Consumo mensal)	R\$	R\$ 16.772,28	R\$ 16.772,28
Custo médio mensal de reposição das lâmpadas (Qtd Lumin. X Tempo de uso x Preço lumin. / Vida útil)	R\$	R\$ 1.476,09	R\$ 913,77
Custo mensal médio de energia (Custo médio	R\$	R\$ 51.278,24	R\$ 38.133,11

mensal na ponta + custo médio mensal fora de ponta) Somatório dos custos operacionais (Custo médio + Custo do consumo)	R\$	R\$ 52.754,33	R\$ 39.046,88
Diferença mensal entre custos operacionais	R\$	R\$ 13.707,45	
Retorno de investimento	MESES	1,921014174	

Fonte: Os autores(2021)

5. CONCLUSÕES

O consumo de energia gerado pela iluminação não é tratado com tanta importância como o consumo de motores elétricos dentro de uma indústria, porém juntamente com ar comprimido e refrigeração representam mais de 50% do consumo de energia nas indústrias. Esse presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um estudo para a substituição das luminárias existentes no galpão com o intuito de aumentar a eficiência energética e produtividade do galpão.

Após a análise da situação atual do galpão, foi observada uma oportunidade de melhoria no processo de iluminação, gerando assim um ambiente com boa iluminação e adequado aos critérios especificados pela norma ABNT NBR 8995. Foi escolhido um modelo de luminária referência em utilização para galpão com pé-direito elevado o modelo LHB08 – S22000840 da fabricante Lumicenter.

Após a escolha da luminária utilizada foi realizado o cálculo luminotécnico para definir a quantidade de luminária a ser instalada com o intuito de padronizar uma faixa de 200 a 500 lux. Para auxiliar no desenvolvimento do cálculo luminotécnico existem alguns softwares que realizam esse processo automaticamente o mais comum entre eles é o DIALUX EVO muito usado para esses fins. Nele, como no processo manual do cálculo luminotécnico pode ser considerado fator de manutenção, depreciação e utilização.

Este trabalho apresentou também o desenvolvimento de um programa supervisor que permite ao operador uma análise visual da iluminação do galpão, nele pode-se observar a quantidade de luminárias acesas e acompanhar o nível de iluminância do galpão, também é possível realizar um acompanhamento da variação da luminosidade durante todo o dia.

Segundo cálculos realizados, somente com a troca das luminárias no galpão se obtém uma maior eficiência, uma maior produtividade e um retorno de investimento esperado em aproximadamente 7 meses. Ressaltando que a iluminação de uma indústria é um fator que pode ser controlado com auxílio de CLP's e Sensores de luminosidade, um galpão bem planejado com boa iluminação natural e telhas translúcidas auxiliam bastante neste controle. Pensando nisso foi desenvolvido uma programação CLP onde realiza o controle de luminosidade hora acendendo e hora apagando as luzes do galpão padronizando a luminância no seu interior esse controle segundo cálculos realizados nos proporciona uma grande melhoria no sistema proposto pela equipe o tornando ainda mais eficiente e produtivo e o melhor de tudo com um retorno de investimento de aproximadamente 2 meses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995: **Iluminação em Ambientes de Trabalho**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

GRIMONI, José; GALVÃO, Luiz Cláudio; UDAETA, Miguel. **Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo**. São Paulo: EdUSP, 2004. 308 p. v. 58.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação Elétrica**. 1. ed. [S. l.]: Blucher, 1999. 203 p. v. 1. ISBN 9788521201755.

PINHEIRO, José. **Guia Completo de Cabeamento de Redes**. [S. l.]: Elsevier Brasil, 2016. 312 p.

DE MORAES , Maria Vilma Gonçalves. **Princípios Ergonômicos**. 1. ed. [S. l.]: Érica/Saraiva, 2014. 120 p.

DA SILVA, Edilson Alfredo. **Introdução às linguagens de programação para CLP**. [S. l.]: Blucher, 2016. 355 p.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8. ed. [S. l.]: Saraiva Educação S.A., 2011. 224 p. v. 1

DIAS, Rubens Alves; BALESTIERI, José Antônio Perella; DE MATTOS, Cristiano Rodrigues. **Uso Racional da Energia**. [S. l.: s. n.], 2006. 192 p.

SENRA, Renato. **Energia Elétrica - Medição, Qualidade e Eficiência**. [S. l.: s. n.], 2013. 695 p.

Balanço Energético Nacional 2018. [S. l.], 2018. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/029/documento/balanco_energetico_ap.pdf. Acesso em: 6 março 2021.

ANEEL Balanço Energético. [S. l.], 2010. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/029/documento/balanco_energetico_ap.pdf. Acesso em: 1 março 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 50001. **Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.