

N. CLASS.	M620.1
CUTTER	J95d
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
MARLÚCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

DISSIPAÇÃO DE CALOR EM LÂMPADAS DE LED

Varginha

2015

MARLÚCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

DISSIPACÃO DE CALOR EM LÂMPADAS DE LED

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2015

MARLÚCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

DISSIPACÃO DE CALOR EM LÂMPADAS LED

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico a Jesus Cristo, por ter me salvado com sua vida na cruz, e me proporcionado condições de lutar e conquistar meus objetivos, muito bom saber que é apenas o começo, Glorias à Deus!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais e irmãos que me apoiaram de todas as formas, com orações e com sacrifícios que jamais esquecerei, jamais estaria nesse momento sem essa força!

“Algo só é impossível até que alguém duvide e prove o contrário.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho aborda uma pesquisa bibliográfica em torno do tema de dissipação de calor em lâmpadas de LED. Primeiramente será descrito a motivação da pesquisa com alguns pontos da tecnologia em ascensão no mercado global de iluminação, como é gerado o calor e a importância de dissipá-lo e os mecanismos existentes para a transferência de calor para o ambiente externo. Posteriormente será proposta uma solução para dissipação de calor em uma barra de LED.

Palavras-chave: Dissipação de calor; LED; Transferência de calor.

ABSTRACT

This work presents a literature around the heat dissipation in LED theme lamps. First will be described the motivation of research with some points of the technology on the rise in the global lighting market, as is generated heat and the importance of dispel it and existing mechanisms for the transfer of heat to the external environment. After that it will be proposed a solution for heat dissipation in a LED lamp.

Keywords: *Heat dissipation; LED; Heat transfer.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Junção P-N de um LED	13
Figura 2- Liberação de um Fóton	13
Figura 3- Fluxo luminoso x Temperatura ambiente	15
Figura 4 - Estrutura de dissipação de calor de LEDs.	16
Figura 5 - Conjunto led dissipador	17
Figura 6 - Variação relativa de Rtda com ventilação forçada.	22
Figura 7 - Circuito equivalente	23
Figura 8 - Detalhe da barra de led.	26
Figura 9 - Detalhes dimensionais da barra de led.....	27
Figura 10 - Detalhes do dissipador escolhido.....	28
Figura 11 - Comportamento $\Delta T^{\circ}C$ x Watts	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Definição de LED.....	12
2.2 Como é gerado o calor no LED	12
2.3 Influência da temperatura nos LEDs	15
2.4 Dissipação de Calor	16
2.4.1 Dissipadores	16
3. MECANISMOS ATUANTES EM UM DISSIPADOR DE CALOR.....	18
3.1. Dissipação por Condução.....	18
3.2. Dissipação por Convecção	18
3.3. Dissipação por Radiação	19
3.4. Resistência Térmica.....	20
4. VARIÁVEIS DE UM SISTEMA DE DISSIPACÃO DE CALOR	23
5. METODOLOGIA.....	26
5.1 Dissipação de calor em um sistema de LED's.....	26
5.2 Dados de um caso experimental	26
5.3 Cálculo do dissipador	27
5.4 Definição do dissipador utilizado	28
6. CONCLUSÃO.....	30
7. REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

A iluminação artificial é uma necessidade do ser humano moderno, e a iluminação utilizando lâmpadas LED tem se mostrado vantajosa em relação às outras fontes de iluminação já consolidadas e amplamente utilizadas, tais como incandescentes, fluorescentes e halógenas, tendo os LED's baixo nível de consumo de energia, alto nível de eficiência e vida útil prolongada. No entanto, os LED's utilizados para iluminação são considerados de alta potência, necessitando de um alto nível de corrente elétrica que ocasiona a elevação de temperatura na zona de junção do componente. A temperatura de trabalho recomendada pelos fabricantes de LED é na faixa de 115°C, não devendo exceder esse limite afim de não depreciar as características luminotécnicas e a vida útil do componente.

Entre vários métodos de dissipação de calor existentes e testados em lâmpadas de LED, o constituído por aletas se torna interessante por funcionar com convecção natural e ter baixo custo de construção, levando em consideração fatores externos ao sistema lâmpada, tais como: temperatura, umidade, e os parâmetros técnicos do produto que são eles: corrente de alimentação do circuito, matérias utilizados nos dissipadores aletados, área de transferência de calor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo segue referencial teórico abordando definições gerais sobre LED, como é gerado o calor e como é dissipado o calor.

2.1 Definição de LED

De acordo com Narendran (2005), Os LED's, do inglês, Light Emitting Diode, são fontes de luz modernas que tem a capacidade de reduzir o consumo de energia na iluminação e proporcionar uma longa vida útil. Esses são os dois principais atributos para o desenvolvimento desta tecnologia.

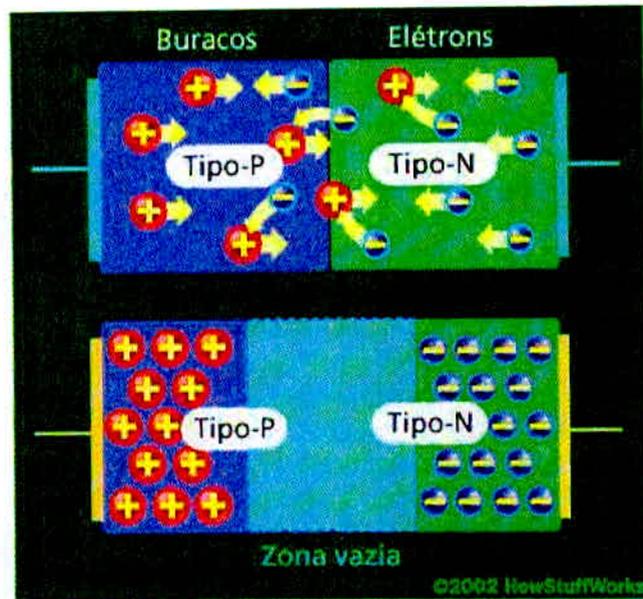
Segundo Hui (2012), Os LED's surgiram no mercado como uma promissora fonte de iluminação, com potencial para substituir as lâmpadas incandescentes, fluorescentes, vapor de mercúrio e sódio. Os LED's (diodos emissores de luz), inventados na década de 1960, são componentes eletrônicos semicondutores que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Ao contrário das lâmpadas convencionais, os LED's não possuem filamentos, eletrodos ou tubos de descarga e se apresentam como componentes de minúsculas dimensões.

Para Scopacasa (2008), Nos LED's, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamado de estado sólido. Esse tipo de iluminação pode ser descrito como o terceiro estágio na evolução da lâmpada elétrica. O primeiro, representado pela lâmpada incandescente desenvolvida pelo americano Thomas Edison, pouco mudou nos últimos 128 anos. O mesmo filamento incandescente continua a ser utilizado até hoje. A segunda fase, iniciada nos anos 30, é a do uso das fluorescentes. Estas geram luz a partir de uma mistura de gases num tubo revestido de fósforo. Mais econômicas, elas já substituíram as incandescentes em grandes ambientes e também, de modo crescente, nas residências.

2.2 Como é gerado o calor no LED

Segundo Pimenta (2008), Os LED's são dispositivos de baixa tensão, formados por meio da junção de dois cristais semicondutores "dopados" com materiais distintos, sendo que um deles contém elétrons em excesso (semicondutor do tipo N) e, o outro, lacunas em excesso (semicondutor do tipo P). Em condições normais, os elétrons livres do semicondutor do tipo N preenchem as lacunas do material do tipo P criando uma banda de isolamento entre os dois materiais, denominada banda proibida, conforme mostrado na figura:

Figura 1- Junção P-N de um LED



Fonte: Pimenta, 2008.

Aplicando-se uma tensão nos terminais da junção p-n, a banda proibida se desfaz, surgindo uma corrente elétrica que flui através da junção, com os elétrons movendo-se num sentido e as lacunas em sentido contrário. Os elétrons livres possuem níveis de energia mais elevados que os das lacunas e, por isto, a combinação de um elétron com uma lacuna resulta na liberação de uma quantidade de energia emitida como radiação luminosa na forma de uma partícula sem massa, denominada fóton, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2- Liberação de um Fóton



Fonte: Pimenta, 2008.

A temperatura da junção é provocada por duas variáveis, a temperatura ambiente e a potência que é aplicada no LED, a sua ascensão provoca a atenuação do fluxo luminoso e da tensão direta do LED.

De acordo com Bender (2013), Os projetistas da área de iluminação quando efetuam um projeto, tem como objetivo principal que o sistema desenvolvido proporcione o fluxo luminoso esperado com a menor variação possível, durante todo o tempo em que o sistema estará em operação. Contudo, os LED's quando são empregados em sistemas de iluminação existem diversos parâmetros como temperatura de junção, potencia elétrica, corrente e tensão direta. Fatores que irão interferir na variação do fluxo luminoso produzido durante a vida útil do sistema.

Entretanto, Hui (2007), afirma que o gerenciamento da temperatura de operação tem sido um dos principais obstáculos que impedem a disseminação da tecnologia de estado solido em iluminação.

A condição térmica de trabalho deve ser observada para determinar um ponto de operação considerando a emissão de luz. Como a temperatura está ligada diretamente a potência elétrica que é aplicada aos LED's, uma teoria para encontrar o ponto ótimo de operação de um sistema a LED's foi proposta, tendo como objetivo alcançar o máximo fluxo luminoso através da escolha de um sistema térmico adequado (Bender, 2013).

A tarefa para o projetista da área na hora de determinar o ponto ótimo de operação de um sistema de iluminação com LED's de potência é complexa. O fluxo luminoso é diretamente proporcional a corrente direta, porém com o aumento da mesma ocorrerá a elevação da potência consumida pelos LED's, provocando a elevação da temperatura do dispositivo.

Com a elevação do custo da energia elétrica com o passar dos anos, e as exigências governamentais para o aumento da eficácia de fontes de iluminação, o mercado dos LED's teve uma expansão muito rápido (Bender, 2012). Porém o custo do mesmo pode ser elevado, com isso a forma mais direta para obter-se a redução do número de LED's juntamente com o aumento do fluxo luminoso produzido pelo sistema, é a elevação da corrente que é aplicada no dispositivo. Entretanto isso acarretará no surgimento de algumas consequências, como o aumento da temperatura de junção, redução da eficácia e da vida útil do mesmo. Para atenuar esses efeitos se faz necessário o uso de um dissipador de calor.

2.3 Influência da temperatura nos LEDs

Em relação à porção de energia revertida em calor, Nascimento (2012), afirma que:

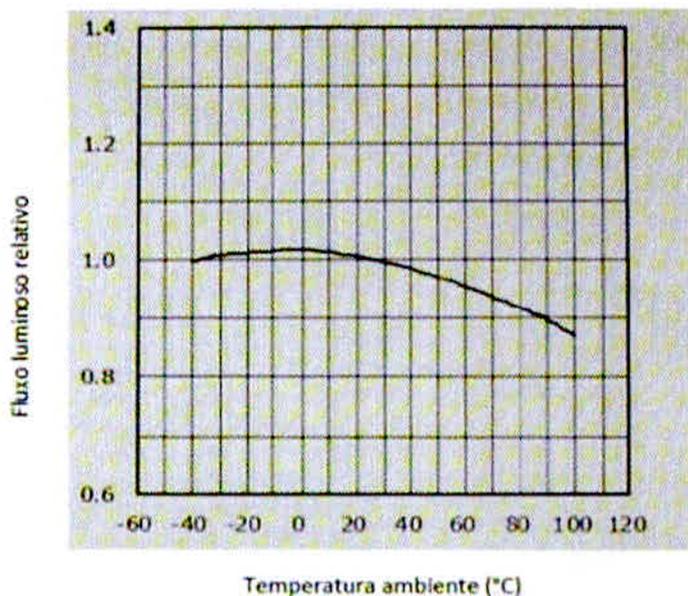
Uma parte considerável é convertida em calor (radiação infravermelha) e esse calor compromete o funcionamento do led. Dessa forma, um dos grandes desafios do uso dessa tecnologia é possibilitar condições de grande dissipação de calor, evitando que esse calor se concentre no led.

Segundo Rodrigues (2012), a dissipação de calor se faz necessário por dois grandes problemas que a alta temperatura acarreta no LED: redução do fluxo luminoso e redução da vida útil do dispositivo. Sanches Júnior e Bürger (2013) explicam a influência da temperatura sobre os LEDs:

A variação da temperatura da região da junção semicondutora influencia na eficiência quântica, uma vez que deforma e desorganiza a rede cristalina, introduzindo variações na barreira de potencial. O que pode alterar o perfil do espectro de emissão. Assim como a energia associada a cada comprimento de onda.

No Gráfico, tem-se o comportamento do fluxo luminoso em relação à temperatura ambiente a qual o LED está submetido:

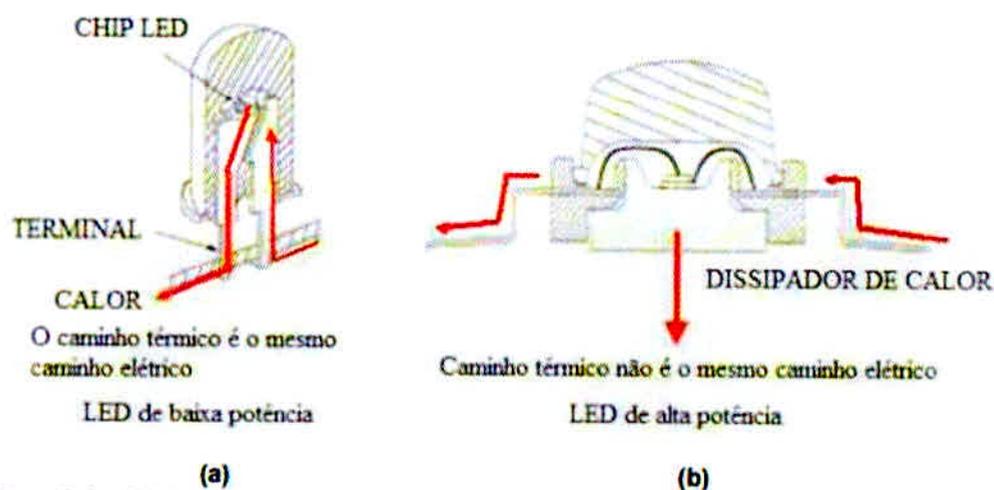
Figura 3- Fluxo luminoso x Temperatura ambiente



Fonte: Nascimento, 2012.

As estruturas de dissipação de calor de LEDs de baixa potência e alta potência são mostradas na Figura abaixo, (a) e (b), respectivamente.

Figura 4 - Estrutura de dissipação de calor de LEDs.



Fonte: Sales, 2011.

2.4 Dissipação de Calor

A junção dos semicondutores é a parte ativa que ocupa um espaço pequeno em relação ao restante do componente. Para potências médias ou altas gera-se calor de elevada temperatura que facilmente excedem os limites permissíveis e toleráveis pelo componente. Tornando assim, indispensável a utilização de dissipadores (MELLO; INTRATOR, 1980, p. 256).

O objetivo de um sistema de dissipação de calor é evitar que a temperatura na junção do semicondutor ultrapasse o valor máximo permitido pelo fabricante na pior condição de operação (FACCHINELLO, 2014, p. 130).

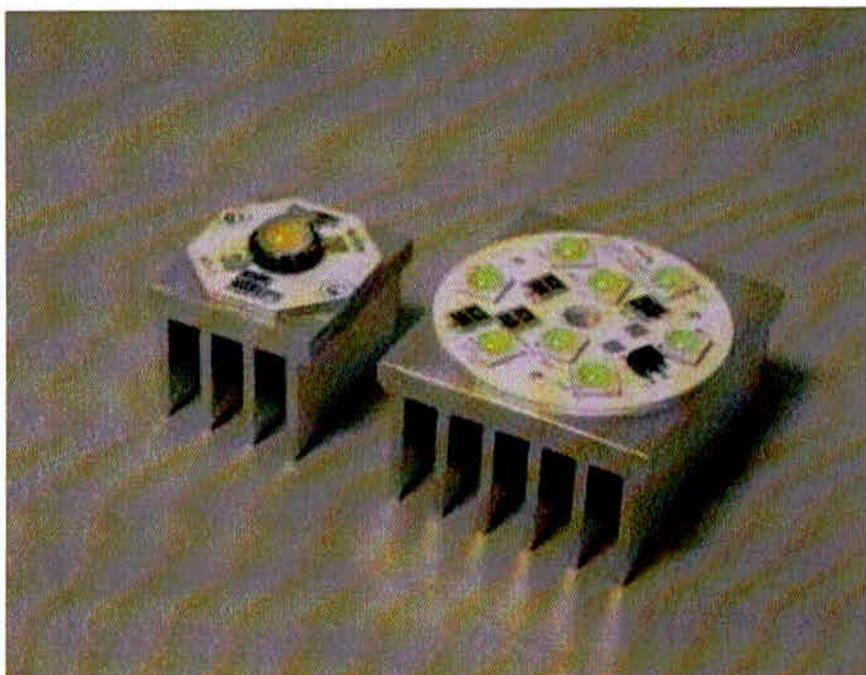
2.4.1 Dissipadores

Como o nome indica, tais dispositivos têm como finalidade eliminar o calor que é gerado nos componentes: melhor será a qualidade de um dissipador quanto maior for sua capacidade de reduzir a temperatura de operação (MELLO; INTRATOR, 1980, p. 258).

A utilização de dissipadores para arrefecer componentes eletrônicos se faz necessária quando, segundo Pomilio (2009, p. 11):

Caso não seja possível reduzir a potência média dissipada e que não há como alterar as resistências térmicas (a menos que se substitua o componente por algum de outro tipo) e ainda que a temperatura ambiente não pode ser reduzida significativamente [...]. Tal “associação em paralelo” de resistências térmicas [...] permite reduzir a resistência equivalente entre ambiente e encapsulamento e, assim, reduzir as temperaturas da cápsula e, conseqüentemente, da junção.

Figura 5 - Conjunto led dissipador



Fonte: Facchinello, 2014.

3. MECANISMOS ATUANTES EM UM DISSIPADOR DE CALOR

3.1. Dissipação por Condução

Segundo Incropera (2008), a condução se refere ao transporte de energia em um meio devido a um gradiente de temperatura e o mecanismo físico é a atividade atômica ou molecular aleatória. A transferência de calor por condução é governada pela lei de Fourier, sendo essa podendo ser aplicada à condução transiente e multidimensional em geometrias complexas, nas quais a natureza da distribuição de temperaturas não é evidente.

Para utilizar a lei de Fourier, a condutividade térmica do material deve ser conhecida. Essa propriedade, que é classificada como uma propriedade de transporte fornece uma indicação da taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada ao estado da matéria.

$$Q = -\frac{kA}{L} \Delta T_1$$

3.2. Dissipação por Convecção

A dissipação por convecção é a que ocorre pela movimentação do ar na região onde se encontra o dissipador de calor.

A taxa de calor [J/s] dissipado é dada por:

$$Q = hA(T_s - T_f)$$

h = coeficiente de troca de calor (W/m^2K)

A = área do dissipador (m^2)

T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$)

T_f = temperatura do meio fluido ($^{\circ}C$)

De acordo com esta equação, para melhorar a dissipação pode-se aumentar a área do dissipador ou aumentar o coeficiente individual de transporte de calor, o qual pode ser melhorado alterando a geometria do dissipador, alterando a orientação do dissipador

(deixando-o em posição horizontal ou vertical, de modo a facilitar o fluxo de ar) ou forçando passagem do ar pelo dissipador (ventilação forçada).

3.3. Dissipação por Radiação

O segundo fenômeno que permite dissipação de calor é por radiação, no qual a energia é transportada por ondas eletromagnéticas. Neste caso, a taxa de calor dissipado é dada por:

$$Q = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_f^4)$$

σ = constante de Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$

ε = emissividade

T_s = temperatura de superfície

T_f = temperatura do fluido (ar)

A única variável que pode ser alterada para o aumento da eficiência é a emissividade, a qual é função apenas do tipo de acabamento da superfície que irradia o calor.

Tabela 1 – Absortividade e emissividade de radiação do alumínio em função do acabamento superficial

	Absortividade	Emissividade	a/e
Anodização preto	0,86	0,86	1
Anodização azul	0,67	0,87	0,77
Anodização bronze	0,73	0,86	0,85
Anodização verde	0,66	0,88	0,75
Anodização vermelho	0,57	0,88	0,65
Anodização amarelo	0,47	0,87	0,54
Anodização natural	0,35	0,84	0,42
Sem anodizar	0,26	0,04	6,5

Fonte: Pomilio, 2014.

3.4. Resistência Térmica

Define-se a grandeza resistência térmica como uma medida da dificuldade do fluxo de calor entre dois meios

$$R_t = \frac{\Delta T}{P} = \frac{1}{(hA)}$$

ΔT = diferença de temperatura entre regiões de transferência de calor

P = potência média dissipada

As resistências térmicas devem ser fornecidas pelo fabricante, que ao invés de fornecer estas resistências, fornece a Temperatura máxima na base do dissipador ($T_{\text{máx}}$). Para determinar a Resistência Térmica do dissipador (R_{da}) deve-se levar em consideração a dedução sobre resistência térmica.

Segundo Pomilio (2014), pode-se definir esta resistência como sendo a razão entre a diferença térmica entre dois pontos e a potência dissipada. Logo, deduz-se que:

$$R_{da} = \frac{T_d - T_a}{P}$$

De acordo com a HS Dissipadores (2014), os valores de resistência térmica dos dissipadores são fornecidos tomando como base o comprimento padronizado de 4". Conforme seu comprimento muda, sua resistência térmica também se altera. Os fabricantes fornecem uma tabela de correção das resistências térmicas para diferentes comprimentos.

Tabela 2 – Tabela de correção de resistências térmicas

Comprimento (mm)	Fator de correção
10	3,05
20	2,21
30	1,82
40	1,59
50	1,43
70	1,22
100	1,04
150	0,86
200	0,75
250	0,67
300	0,62
400	0,54
500	0,49

Fonte: Catálogo HS dissipadores, 2014.

A utilização de grande número de aletas é para aumentar a área de troca de calor. A resistência térmica entre o dissipador e o ambiente, R_{tda} , para uma placa plana quadrada é aproximadamente dada por:

$$R_{tda} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda W}} \cdot C_f^{0,25} + 650 \cdot \frac{C_f}{A}$$

λ = condutância térmica (77°C) [W/(°C.cm)]

W = espessura do dissipador [mm]

A = área do dissipador [cm²]

C_f = fator de correção devido à posição e tipo de superfície

Tabela 3 – Condutância térmica

Material	(W/(°C.cm))
Alumínio	2,08
Cobre	3,85
Latão	1,1
Aço	0,46
Mica	0,006
Óxido de berílio	2,1

Fonte:Pomilio, 2014.

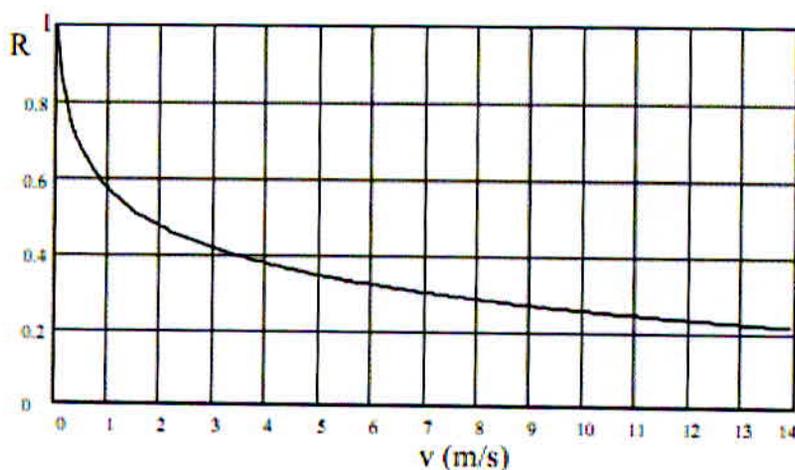
O fator C_f varia com a posição do dissipador, sendo preferível uma montagem vertical à horizontal por criar um efeito chaminé.

Tabela 4 – Valores C_f para alumínio

	Corpo anodizado	Corpo brilhante
Montagem vertical	0,43	0,85
Montagem horizontal	0,5	1

Fonte:Pomilio, 2014.

O valor efetivo da resistência térmica do dissipador pode ser significativamente reduzido por circulação forçada de ar, como indicado na figura abaixo:

Figura 6 - Variação relativa de R_{tda} com ventilação forçada.

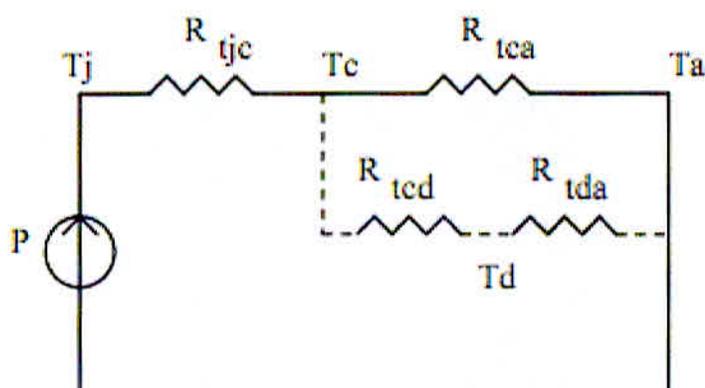
Fonte: J A Pomilio, 2014.

4. VARIÁVEIS DE UM SISTEMA DE DISSIPAÇÃO DE CALOR

Nos dispositivos semicondutores, sendo o LED um deles, o calor decorrente do efeito Joule produzido na pastilha, flui para ambientes mais frios, como encapsulamento e o ambiente. Este fluxo de calor depende de fatores como gradiente de temperatura e as características térmicas dos meios e materiais envolvidos.

Em geral se faz uma analogia com um circuito elétrico, sendo a potência representada por uma fonte de corrente. As temperaturas nos ambientes indicados (junção, cápsula, ambiente) são análogas as tensões nos respectivos nós, enquanto as resistências térmicas são as próprias resistências do modelo.

Figura 7 - Circuito equivalente



Fonte: J A Pomilio, 2014.

P = Potência dissipada

T_j = Temperatura de junção

R_{tjc} = Resistência junção cápsula

T_c = Temperatura da cápsula

R_{tca} = Resistência cápsula ambiente

T_a = Temperatura ambiente

R_{tcd} = Resistência cápsula dissipador

T_d = Temperatura do dissipador

R_{tda} = Resistência dissipador ambiente

Para garantir o bom desempenho dos LED's utilizados no trabalho, é fundamental que a temperatura de junção não ultrapasse 115°C. Os valores necessários para o dimensionamento do dissipador são:

- Temperatura máxima de junção do LED ($T_{j\text{máx}}$),
- Temperatura Ambiente (T_a),
- Potência Dissipada (P),
- Resistência Térmica entre a junção e cápsula (R_{jc})
- Resistência Térmica entre cápsula e dissipador (R_{cd}).

Via de regra a temperatura ambiente (T_a) é considerada constante e o objetivo do dimensionamento é garantir que a temperatura da junção semicondutora (T_j) não ultrapasse um dado valor máximo. As resistências térmicas entre junção e cápsula (R_{jc}) e entre cápsula e ambiente (R_{tca}) são dados do componente, existindo nos manuais. Eventualmente se omite o valor da resistência entre cápsula e ambiente caso seu valor seja elevado e seguramente seja utilizado algum dissipador de baixa resistência térmica.

A equação típica do modelo é:

$$T_j = T_a + P \cdot (R_{jc} + R_{tca})$$

Considerando que não seja possível reduzir a potência média dissipada e que não há como alterar as resistências térmicas e ainda que a temperatura ambiente não pode ser reduzida significativamente, a alternativa para a proteção do semicondutor é colocar um dispositivo de baixa resistência térmica entre o encapsulamento e o ambiente (entre a junção e o encapsulamento não é possível fazê-lo). A este elemento colocado junto ao encapsulamento se diz dissipador de calor. Tal associação em paralelo de resistências térmicas permite reduzir a resistência equivalente entre ambiente e encapsulamento e, assim, reduzir as temperaturas da cápsula e, conseqüentemente, da junção.

$$T_{j\text{max}} = T_a + (R_{jc} + R_{\text{teq}})P$$

$$R_{\text{teq}} = \frac{R_{tca}(R_{tcd} \cdot R_{tda})}{R_{tca} + R_{tcd} + R_{tda}}$$

Na montagem do componente semicondutor sobre o dissipador existe uma resistência térmica entre o encapsulamento e o corpo do dissipador, a qual é determinada, principalmente, pelo ar contido entre os corpos, devido às rugosidades e não alinhamento das superfícies. Este fato pode ser minimizado pelo uso de pastas de silicone ou outro tipo de material que seja bom condutor térmico e isolante elétrico. Caso seja necessário isolar eletricamente o corpo do componente do dissipador utiliza-se, em geral, isoladores de mica ou de teflon, que apresentam uma resistência térmica adicional entre capsula e dissipador.

5. METODOLOGIA

Neste capítulo será abordado um problema de dissipação de calor em uma fonte de luz LED, serão utilizados os referenciais teóricos para modelar e apresentar uma solução satisfatória para a situação analisada.

5.1 Dissipação de calor em um sistema de LED's

Para uma operação satisfatória que mantenha as características luminotécnicas do led, é necessário o entendimento e controle de parâmetros do sistema.

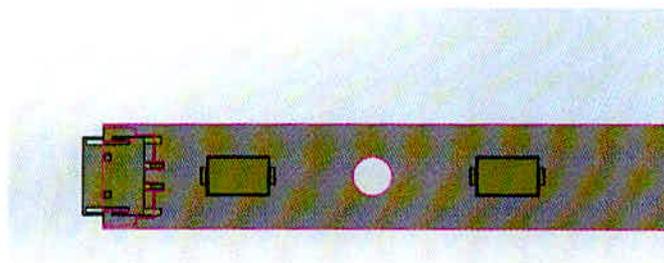
Segundo Scopacasa (2008), o fluxo luminoso e a cor são dependentes da temperatura de operação do led. Isto significa que, quanto maior a temperatura, menor o fluxo luminoso e, conseqüentemente, menor a eficácia. O objetivo é fazer com que o calor gerado no led seja transferido para o ambiente onde a luminária será instalada.

5.2 Dados de um caso experimental

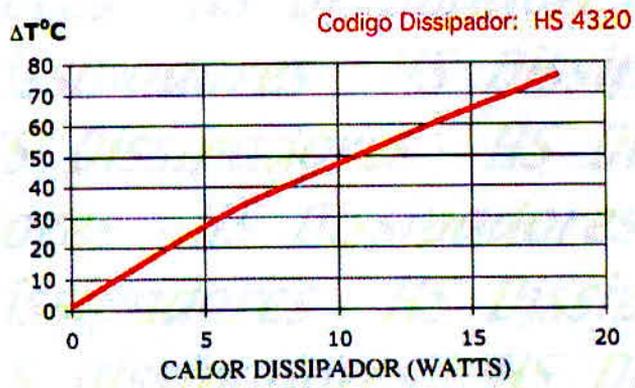
Utilizando do referencial teórico pesquisado, é possível calcular um dissipador de calor para um sistema simples, com características básicas de escoamento de calor.

O sistema proposto trata-se de uma barra de led com potência de 10,5 W, composta por 21 leds com espaçamentos equidistantes entre si, a barra de led em questão tem dimensões de 435x8x1mm.

Figura 8 - Detalhe da barra de led.



Fonte: o autor.

Figura 11 - Comportamento $\Delta T^{\circ}\text{C}$ x Watts

Fonte: Catálogo HS Dissipadores, 2014.

6. CONCLUSÃO

Atualmente a demanda por energia elétrica vem aumentando juntamente com os custos para sua utilização, uma das alternativas para racionalizar e economizar recursos energéticos passam por criar tecnologias limpas de geração e utilização.

As lâmpadas de LED tem características interessantes de consumo de energia, de possibilidades de uso e de tempo de vida útil, porem existem desafios atuais para seu desenvolvimento e consequentemente ter seu preço acessível. Um dos pontos críticos da tecnologia é o controle térmico dos sistemas em LED, sendo a temperatura resultado do fenômeno de eletroluminescência que gera a luz.

Sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de dissipadores de calor para manter o sistema em condições satisfatórias de operação, mas vale lembrar que não é uma tarefa simples, o estudo e desenvolvimento de soluções referentes a transferência de calor exige muito dos projetistas, o que torna o tema algo complexo.

7. REFERÊNCIAS

- BENDER, V. C.; IARONKA, O.; VIZZOTTO, W. D.; Metodologia de projeto eletrotérmico de LEDs aplicada ao desenvolvimento de sistemas de iluminação. **Eletrôn. Potên.**; Campo Grande, v.18, n.2, p.991-1000, 2013. Disponível em:<<http://www.swge.inf.br/CBA2014/anais/PDF/1569935569.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2015.
- FACCHINELLO, G. Projeto de um inversor com comando auto-oscilante para emprego em um sistema autônomo de bombeamento de água a partir de painéis fotovoltaicos. **UFSC**, Santa Catarina, v.1, n.3, p.256-301, jun. 2014. Disponível em:< <http://www.lepo.joinville.udesc.br/index.php?site=publicacoes&tipo>>. Acesso em: 08 set. 2015.
- HUI, S. Y. R.; CHEN, H. T.; TAO, X. H. An Extended Photoelectrothermal Theory for LED Systems: A Tutorial From Device Characteristic to System. **IEEE Transactions on Power Electronics**, Hong Kong, v.27, n.11, p.4571-4583, nov.2012. Disponível em:< <http://hub.hku.hk/bitstream/10722/164099/1/Content.pdf?accept=1>>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- HS DISSIPADORES. **Catálogo HS Dissipadores**. São Paulo, 2014. p.119. Disponível em: <<http://www.hsdissipadores.com.br/catalogo.asp>>. Acesso em: 12 set. 2015.
- INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Tradução de Eduardo M. Queiroz. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- MELLO, H.A.; INTRATOR, E. **Dispositivos Semicondutores**. 4.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1980.
- NARENDRAN, N.; GU, Y. Life of LED: Based White Light Sources. **IEEE/OSA Journal of Display Technology**, New York, v.1, n.1, p.167-171, sep.2005. Disponível em:< <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/pdf/narendran-gu-jdt2005.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2015.
- NASCIMENTO, A. **Análise do uso da tecnologia LED na iluminação pública: estudo das perspectivas de aplicação na cidade de São Paulo**.2012. 206p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2012. Disponível em:< <http://www.escavador.com/pessoas/182215>>. Acesso em: 11 ago. 2015.
- PIMENTA, J. L. Uma fonte de luz Promissora. **Revista LA_PRO**, São Paulo, nov. 2008. ed.1, p.18.
- POMÍLIO, J. A. Dimensionamento de sistemas de dissipação de calor para dispositivos semicondutores de potência. **Eletrônica de Potência**, Campinas, v.1, n.11, p.1-18, ago. 2014. Disponível em:< <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltipot/cap11.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2015.

RANGEL, M. G.; SILVA, P. B.; GUEDE, J. R. A. Led – Iluminação de estado sólido. **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**, São José dos Campos, 2009. Disponível

em:<http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0508_0224_01.pdf>. Acesso em: 02 set. 2015.

RODRIGUES, P. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **PROCEL: Manual de Iluminação Eficiente**. Rio de Janeiro, p.36, mar. 2002.

SALES, R.P. **LED, o novo paradigma da iluminação pública**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em:< <http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/RobertoSales.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2015.

SANCHES, O.; BÜRGER, A.A. Alteração das características cromáticas de luminárias a LED com a temperatura: Estudo de caso para uma luminária de uso geral. **Lumière Electric**. São Paulo, Ed.180, p. 58 – 62, abr. 2013.

SCOPACASA, V. A. Introdução à Tecnologia de LED. **Revista LA_PRO**, São Paulo, nov. 2008. ed.1, p.5-10.