

2.1.3 Potência elétrica

Conforme Alexander e Sadiku (2013), pode-se definir como potência elétrica a velocidade que um equipamento consome ou absorve energia, essa relação pode ser escrita como:

$$P \triangleq \frac{dw}{dt} \quad (3)$$

Onde p é a potência em watt (W), w é a energia em joule (J) e t é o tempo em segundos (s). Assim podemos correlacionar com a corrente elétrica, pois a energia varia em relação ao fluxo de cargas elétricas:

$$P \triangleq \frac{dw}{dt} = dw - dq \cdot \frac{dq}{dt} = vi \quad (4)$$

Logo pode-se escrever:

$$P = vi \quad (5)$$

2.1.4 Potência aparente e fator de potência

Segundo Dorf e Svoboda (2016), dentro de um circuito elétrico de corrente alternada, o cálculo de potência sofre algumas modificações, devido à variação dos valores de tensão e corrente ao longo do tempo, de forma senoidal:

$$p(t) = V_m I_m \cdot \cos(\omega t + \theta V) \cdot \cos(\omega t + \theta I) \quad (6)$$

Para calcular o valor médio da potência fornecida a um circuito, deve ser levado em consideração a variação da potência instantânea $p(t)$, onde obtém-se a equação a seguir.

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cdot \cos(\theta_V - \theta_I) \quad (7)$$

Esta potência P , chamamos de potência ativa e sua unidade de medida é o watt (W), que é a energia consumida no sistema que pode ser convertida e utilizada para variados fins.

A potência reativa, por sua vez, trata da energia complexa consumida pelo circuito ao armazenar a energia em forma de campos eletromagnéticos de cargas indutivas. Convencionalmente, a potência reativa é apresentada como Q , sua unidade de medida é o volt-ampère reativo (VAr) e é representada matematicamente por:

$$Q = \frac{V_m I_m}{2} \cdot \text{sen}(\theta_V - \theta_I) \quad (8)$$

Através da soma vetorial da potência ativa e da potência reativa (que é complexa), obtém-se a potência aparente de um circuito, representada por S e com a unidade de medida volt-ampère (VA).

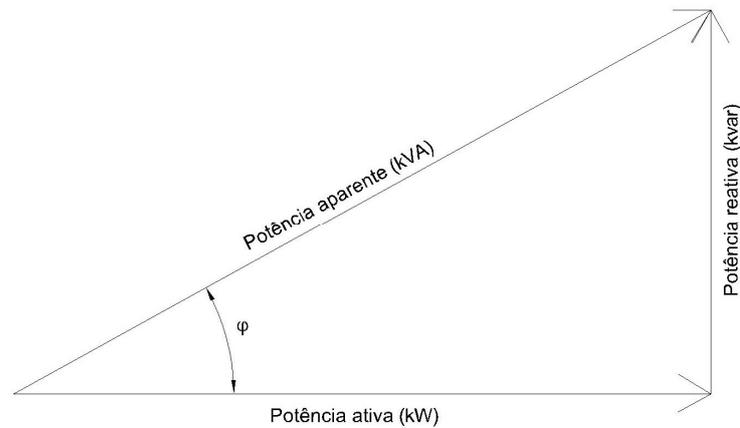
$$S = \frac{V_m I_m}{2} \cdot \cos(\theta_V - \theta_I) + j \frac{V_m I_m}{2} \cdot \text{sen}(\theta_V - \theta_I) \quad (9)$$

Ou, em sua forma resumida:

$$S = P + jQ \quad (10)$$

A relação entre a potência ativa e a potência aparente, é chamada de fator de potência e é representada por $\cos(\varphi)$, onde φ é o ângulo de impedância da carga do circuito elétrico. Em circuitos elétricos puramente resistivos não há impedância (carga reativa) e o fator de potência é 1, ou seja, a potência aparente é igual a potência média. Já com uma carga puramente reativa, o fator de potência é 0. Na Figura 1, é apresentada a notação da relação vetorial das potências, chamado de triângulo de potências.

Figura 1 - Triângulo de potências



Fonte: Compilação do autor.

2.1.5 Fluxo luminoso

Segundo Luz entende-se como fluxo luminoso:

A potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a 1 candela.[...] (LUZ, 1995, p. 7).

O fluxo luminoso varia de acordo com a fonte emissora de luz a ser considerada e sua unidade de medida é o lúmen (lm).

2.1.6 Eficácia luminosa

É uma relação provinda do fluxo luminoso emitido por uma determinada fonte de luz e a sua potência elétrica, sua unidade de medida é o lúmen por watt (lm/W). De acordo com Luz (1995, p. 7) “é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada”.

Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100 W que possui fluxo luminoso de 1000 lm possui uma eficácia luminosa de 10 lm/W ou uma lâmpada de vapor de mercúrio de 250 W e 5.250 lúmens, possui eficácia de 50 lm/W.

2.1.7 Iluminância e Luminância

O conceito de iluminância pode ser apresentado como “a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide [...]” (Luz, 1995), ou seja, é a densidade de lúmens que incidem sobre uma determinada superfície. A unidade de medida da iluminância é o lux (lx).

Para exemplificar, um dia ensolarado de verão em um local aberto chega a 100.000 lux, já um dia encoberto chega a 20.000 lux, ou uma noite de lua cheia chega a 3.000 lux.

Como relata Luz, esse é o conceito mais abstrato apresentado pelo estudo da iluminação (luminotécnica):

É através da luminância que o homem enxerga. [...] Por definição luminância é a razão da intensidade luminosa (dI), incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área da aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero. Área aparente significa que é a área projetada, aquela que é vista pelo observador. Por exemplo, quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície esta área aparente é a própria área da superfície, caso contrário é proporcional ao cosseno do ângulo α (LUZ, 1995, p. 9).

Portanto, a luminância (L) é representada matematicamente por:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos(\alpha)} \quad (11)$$

Onde I é a intensidade luminosa em candelas (cd), A é área da superfície em metros quadrados (m²), α é o ângulo de direção da observação em graus (°) e L é a luminância medido em candela por metro quadrado (cd/m²).

2.1.8 Temperatura de cor correlata

Um exemplo bastante tomado ao se tratar de temperatura de cor é pelo ato de um ferreiro colocando uma peça de ferro em um forno. Inicialmente possuindo cor escura, ao entrar em contato com o alta temperatura a peça começa aquecer, e passa a se comportar segundo a lei de Planck, assim atingindo 800K (Kelvin) a peça toma uma cor vermelha. Chegando a 3.000 K sua coloração fica amarela e a 5.000 K torna-se branca azulada, desta forma sua cor fica cada vez mais clara com o aumento de temperatura até atingir seu ponto de fusão.

Assim pode-se estabelecer uma correlação entre a cor de uma fonte luminosa e sua temperatura, cuja varia seu espectro segundo seu ponto de fusão. Como exemplo, uma lâmpada incandescente atua com temperatura de 2.700 K e 3.100 K (LUZ, 1995).

2.1.9 Índice de reprodução de cor

Segundo Feldman de acordo com Moreira entende-se como índice de reprodução de cor (ICR):

A medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz. Corresponde a um número abstrato, variando de 0 a 100, que indica aproximadamente como a iluminação artificial permite ao olho humano perceber as cores com maior ou menor fidelidade. Lâmpadas com IRC próximo de 100 reproduzem as cores com fidelidade e previsão (FELDMAN, 2014, p. 4 apud MOREIRA, 1999, p. 22).

2.1.10 Grau de proteção

Para a proteção de equipamentos elétricos com tensão nominal não superior a 72,5kV, existe uma norma brasileira que define a classificação de graus de proteção através do índice de proteção (IP).

De acordo com este código, é possível identificar se o equipamento a ser utilizado pode ser aplicado nas condições do local de instalação, ou exigir a utilização de um equipamento que possua o grau indicado para essa aplicação. Em suma, podemos resumir os graus de proteção com o infográfico apresentado na Figura 2, que demonstra quais são os níveis de proteção para cada código IP.

Figura 2 - Códigos dos graus de proteção.

		SEGUNDO NUMERAL / GRAU DE PROTEÇÃO CONTRA ÁGUA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
		Não protegido	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água em inclinação máxima de 15°	Protegido contra água aspergida de um ângulo de $\pm 69^\circ$	Protegido contra projeções de água	Protegido contra jatos de água	Protegido contra jatos potentes de água	Protegido contra imersão temporária	Protegido contra submersão	
GRAU DE PROTEÇÃO CONTRA OBJETOS SÓLIDOS	PRIMEIRO NUMERAL										
	Não protegido	0	IP00	IP01	IP02						
	Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 50 mm	1	IP10	IP11	IP12						
	Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 12 mm	2	IP20	IP21	IP22	IP23					
	Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 2.5 mm	3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
	Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 1 mm	4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP45	IP46		
	Protegido contrapoeira depressão: 200 mm de coluna d'água. Máxima aspiração de ar: 80 x o volume do invólucro	5						IP54	IP55	IP56	
Totalmente protegido contra a poeira. Mesmo procedimento de teste	6							IP65	IP66	IP67	IP68

Fonte: Catálogo de produtos Opus (2015).

2.2 Tipos de lâmpadas

A primeira lâmpada elétrica viável, que era um arco de carbono, foi desenvolvida e demonstrada por Humphrey Davy em 1810. Desta forma, foram realizados diversos experimentos por Humphrey e outros ao longo do século XIX, porém seu uso passou a ser generalizado na década de 1880, quando seus custos foram tornados acessíveis e sua durabilidade foi aumentada por Joseph Swan na Grã-Bretanha e Thomas Edison nos Estados Unidos (TREGENZA E LOE, 2015).

Desde então as lâmpadas passaram por constantes evoluções até os dias atuais. Transcendendo através das lâmpadas fluorescentes até as lâmpadas LED. Em seguida aborda-se as principais características de cada tipo presente no mercado.

2.2.1 Lâmpadas incandescentes

É constituída por uma câmara de vidro conhecida como bulbo, fixada em uma base metálica com rosca, que é um de seus pontos de conexão, no fim da rosca fica o outro ponto de conexão separado por um material isolante, conforme a Figura 3. Estes pontos são conectados

a um filamento no interior do bulbo, aquecendo-o a uma temperatura elevada, emitindo luz e calor, cujo fenômeno é conhecido como efeito Joule.

O filamento utilizado atualmente, que é de tungstênio, garante maior durabilidade, com uma temperatura de trabalho de aproximadamente de 3.000 °C, ficando incandescente, dando origem ao nome atribuído a esse tipo de lâmpada. Para evitar centelhas e posteriormente combustão devido ao contato da centelha com o oxigênio, no interior do bulbo encontra-se uma combinação de gases inerentes, estes gases são nitrogênio e argônio ou criptônio, (BAPTISTA, 2016).

Figura 3 - Aspectos construtivos da lâmpada incandescente



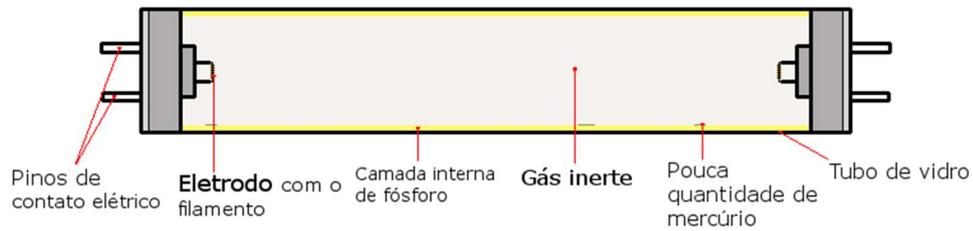
Fonte: Bodas, Jardim e Errobidart, 2017.

2.2.2 Lâmpadas fluorescentes tubulares

É constituída por um bulbo cilíndrico de vidro pintado com materiais fluorescentes conforme a Figura 4. Possui dois eletrodos de tungstênio (catodos), presentes em suas extremidades, por onde circula corrente elétrica. Com gás em seu interior, podendo ser de vapor de mercúrio ou argônio de baixa pressão, produz energia luminosa através de uma descarga elétrica nesses gases.

São utilizadas para a iluminação de ambientes internos e possuem eficiência consideravelmente maior que as incandescentes. Com espectro luminoso amplo, é indicada para diversos tipos de iluminação, apesar de não permitir destaques significativos de cores.

Figura 4 - Aspectos construtivos da lâmpada fluorescente



Fonte: Ciclo diferente, 2014.

2.2.3 Lâmpadas fluorescentes compactas

As lâmpadas fluorescentes compactas, Figura 5, tem sua semelhança às incandescentes com uma rosca que possibilita sua substituição de maneira fácil sem o auxílio de ferramentas. Possui em sua base um starter e um reator. Proporcionado uma boa economia e qualidade de iluminação, é ideal para ambientes residenciais, comerciais e industriais.

Figura 5 - Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas



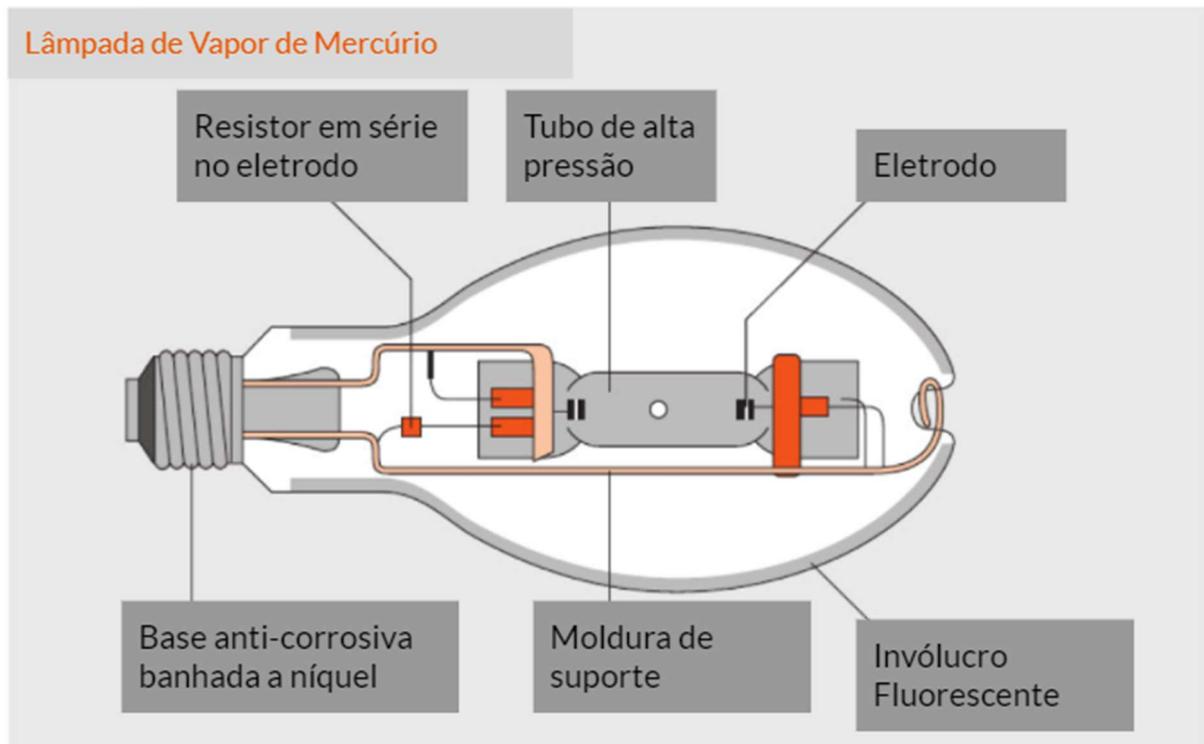
Fonte: Catálogo Ledvance, 2012.

2.2.4 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

A lâmpada de vapor de mercúrio (Figura 6) é formada por um bulbo de vidro revestido com uma camada de fósforo, com a função de reduzir o índice de reprodução de cor. Com um tubo de descarga transparente inserido, contém vapor de mercúrio em uma pressão de 2 a 4 atm e argônio a 0,03 atm, que atua como gás de partida, realizando a redução de tensão e gerando a ignição e calor necessários para vaporização do mercúrio.

O tubo de descarga é de quartzo, suportando temperaturas superiores a 340°C. Dentro do bulbo há uma atmosfera formada por nitrogênio que protege os metais presentes reduzindo sua oxidação, limitando a intensidade de radiação ultravioleta que atinge o revestimento de fósforo, melhorando a isolamento térmica da lâmpada. (BAPTISTA, 2017).

Figura 6 - Aspectos construtivos lâmpadas de vapor de mercúrio



Fonte: Adaptado de Catálogo Ledvance.

2.2.5 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

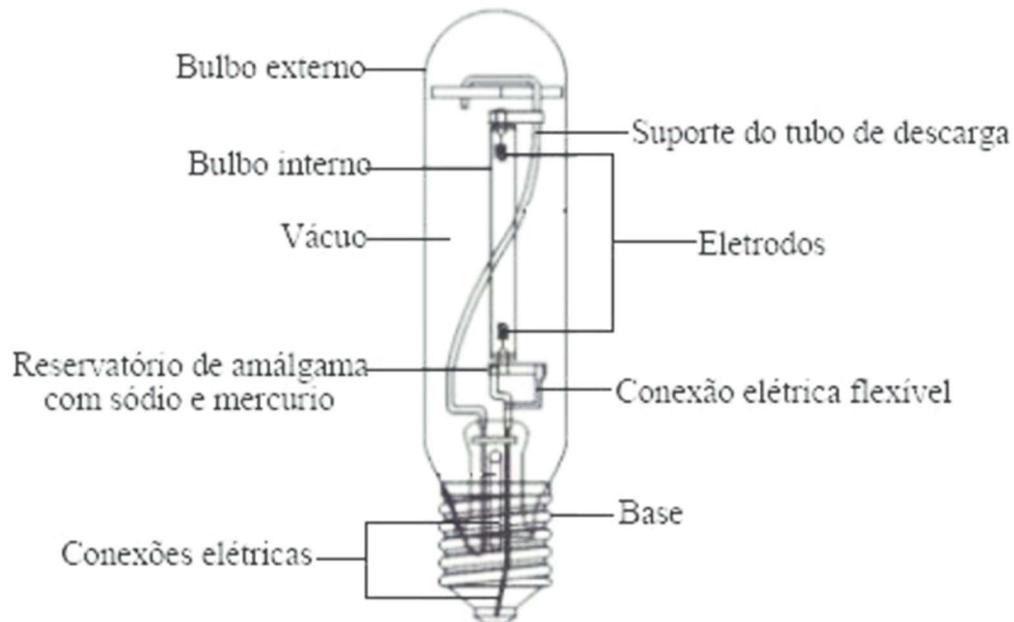
A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (Figura 7), é formada por dois eletrodos nas extremidades de um tubo de descarga cilíndrico translúcido, onde possui um bulbo de vidro que é sustentado por uma estrutura mecânica sob vácuo. Este bulbo contém vapor de mercúrio à pressão de 0,5 a 2 atm e xenônio atuando como um gás de partida.

Possuindo um bulbo transparente ou com revestimento de fósforo neutro que torna sua superfície difusa (não alterando a distribuição espectral de luz) a lâmpada apresenta em geral um baixo índice de reprodução de cor ($IRC \approx 20$), com uma vida útil longa de 24.000 horas.

Este tipo de lâmpada apresenta uma alta eficácia luminosa de 120 lm/W para uma lâmpada de 400W, e pode ser encontrada em variações especiais com um elevado índice de

reprodução de cor ($IRC = 85$), no entanto sua eficácia luminosa é de 80 lm/W (BAPTISTA, 2017).

Figura 7 - Aspectos construtivos lâmpada de vapor de sódio



Fonte: Researchgate, Lúcio dos Reis Barbosa, 2015.

2.2.6 Lâmpadas LED

Os LEDs existem desde 1962, durante muito tempo foram usados apenas como indicadores luminosos de aparelhos eletrônicos, após utilizados como sinalizadores de lâmpadas de emergência e semáforos, sendo que a sua utilização como iluminação de ambientes internos e externos ainda é considerada uma tecnologia recente (RIBEIRO, 2012).

O LED é um diodo emissor de luz de alta durabilidade e eficiência energética (Figura 8), é um tipo de diodo semicondutor em estado sólido, sua luz é produzida dentro de um chip cujo tamanho é inferior a $0,25 \text{ mm}^2$. Este chip é um cristal também em estado sólido (LOPES, 2014).