

ILUMINAÇÃO AEROPORTUÁRIA: ESTUDO DO LED EM COMPARAÇÃO ÀS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS

Gabriel Zanuto (Engenheiro Eletricista, Infraero, E-mail: gzanuto@gmail.com)
Dr. David Calhau Jorge (Professor Associado, Universidade Federal do Triângulo Mineiro-UFTM)

Resumo: Diversas tecnologias modernas têm sido aplicadas em sistemas de iluminação. Em infraestrutura aeroportuária no Brasil, o advento do LED tem ganhado aceitação em substituição aos tradicionais sistemas de iluminação que utilizam lâmpadas incandescentes ou lâmpadas de descarga e de vapores metálicos. Contudo, poucas pesquisas têm sido realizadas no sentido de comparar a tecnologia LED com outras formas de iluminação, por meio de medições de grandezas elétricas e luminotécnicas, especialmente, em implantações efetivas fora dos ambientes controlados de laboratório, como por exemplo, em aeroportos. O presente trabalho aborda questões relativas ao desempenho elétrico e luminotécnico de sistemas de iluminação modernos que utilizam tecnologia LED aplicados à infraestrutura aeroportuária. Foram estudadas três implantações reais de tecnologias modernas de iluminação em aeroportos distintos do país. Em cada aeroporto avaliou-se, dentro das disponibilidades físicas e instrumentais, grandezas elétricas como a tensão, corrente, potência, bem como a iluminância destes equipamentos em comparação aos convencionais. Instrumentos como o luxímetro e o analisador de energia foram utilizados antes e após a substituição de sistemas convencionais por tecnologias modernas. Os resultados obtidos, apresentados e discutidos neste trabalho, mostraram que a tecnologia LED oferece ganho de iluminância e redução de corrente e potências elétricas; contudo, há restrições no emprego da tecnologia no que diz respeito às distorções harmônicas de corrente, principalmente.

Palavras-chave: Iluminação aeroportuária. Iluminação LED. Qualidade da energia

AIRPORT LIGHTING: LED STUDY IN COMPARISON OF CONVENTIONAL TECHNOLOGIES

Abstract: Modern technologies have been applied in lighting systems. In Brazilian airport infrastructure in Brazil, the advent of LED has gained acceptance in replacement to traditional lighting systems that use incandescent lamps or discharge lamps and metal vapor. However, some research has been conducted to compare the LED technology with other forms of lighting, by measurements of electrical and photometric quantities, especially in effective deployments outside of controlled laboratory environments, such as at airports. This paper discusses issues related to electric and photometric performance of modern lighting systems using LED technology applied to airport infrastructure. They studied three actual deployments of modern lighting technologies at different airports of the country. In each airport are evaluated within the physical and instrumental availability, electrical quantities such as voltage, current, power and illuminance of these devices compared to conventional. Instruments such as the luxmeter and the power analyzer were used before and after the replacement of conventional systems by modern technologies. The results presented and discussed in this work showed that LED technology offers illuminance gain and reduction of current and electric power. However, there are restrictions in use of the technology with respect to the harmonic current distortions, mainly.

Keywords: Airport lighting. LED. Energy quality.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação representa o terceiro maior uso de energia elétrica no Brasil, sendo cerca de 17% da matriz de energia elétrica no país. A iluminação é responsável por aproximadamente 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial (IWASHITA, 2004).

Com o advento da crise hídrica e, conseqüentemente, crise energética em 2014, diversos mecanismos preventivos para redução do consumo de energia tem sido empregados pelos setores consumidores no país.

Durante décadas os chamados auxílios visuais aeroportuários têm empregado lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga. Além disso, a infraestrutura aeroportuária aplica lâmpadas convencionais na iluminação ambiente e iluminação viária. Tais lâmpadas incandescentes e de descarga, para atingir sua alta eficiência luminosa, apresentam alto consumo de energia elétrica. Tendo em vista, as grandes potências instaladas em balizamentos de pista e o tempo em que estes permanecem ligados, os aeroportos brasileiros empregam grande parte da sua energia elétrica consumida em sistemas de iluminação e auxílios visuais.

Não obstante, os profissionais de Engenharia Aeroportuária têm adotado tecnologias que visam aumentar a eficiência energética de seus sistemas e promover a redução no consumo de energia elétrica.

Dentro das tecnologias que estão despontando, as lâmpadas a LED oferecem um grande potencial de aplicação devido a sua alta eficiência aliada ao bom desempenho luminotécnico e ao impacto positivo em relação ao meio ambiente, constituindo-se como uma tendência em inovação tecnológica (RYCAERT et al, 2012). É de se esperar, portanto que sistemas de iluminação a LED sejam aplicados em infraestrutura aeroportuária, promovendo iluminação ambiente e constituindo equipamentos de auxílio visual à navegação aérea.

Nesta pesquisa, serão analisadas tecnologias LED em comparação com tecnologias convencionais incandescentes e fluorescentes aplicadas à iluminação aeroportuária, uma vez que há grandes lacunas de conhecimento sobre o tema em virtude da escassez de pesquisas que avaliem parâmetros elétricos e luminotécnicos destas tecnologias.

A pesquisa foi contextualizada em três implementações LED em aeroportos brasileiros. Dentro das limitações instrumentais e infraestruturais foi possível avaliar corrente, tensão, potência e fator de potência elétricos, bem como se analisou o espectro harmônico e a iluminância, haja visto que são parâmetros mensuráveis por instrumentos portáteis e permitem análises amplas dentro da Engenharia Elétrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de comparar tecnologias LED com tecnologias convencionais de iluminação aeroportuária, foram estudadas três implantações em aeroportos distintos no país, que visavam à substituição de tecnologias convencionais por LED.

Por questões de segurança da aviação civil a localização e o nome dos aeroportos foram mantidos em sigilo e, estes serão referidos no presente trabalho como A, B e C.

Tais aeroportos foram utilizados como objeto de pesquisa, pois estavam em processo de revitalização tecnológica. Assim, não foram selecionados por critérios de amostragem experimental, mas por questão de disponibilidade para pesquisa e mobilidade geográfica do autor.

No Aeroporto A houve a substituição de luminárias de balizamento com lâmpadas incandescentes por luminárias LED.

No Aeroporto B houve a substituição de refletores de iluminação de pátio de aeronaves por refletores LED.

No Aeroporto C houve a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED tubular.

Para realizar a avaliação fotométrica e elétrica de tais implantações, utilizou-se um luxímetro da marca MINIPA, modelo MLM-1020, dotado de registrador eletrônico de medições. Utilizou-se também, um analisador de qualidade de energia da marca AEMC,

modelo 8335 para análise de componentes harmônicas e grandezas elétricas. Além disso, contou-se com um multímetro marca FLUKE, modelo 87 III True RMS.

As grandezas medidas: corrente, tensão, potência, fator de potência, iluminância e espectro harmônico, consagradas na Engenharia Elétrica (MAGALHÃES, 2015), apresentam um panorama geral de avaliação elétrica e luminotécnica e são possíveis de serem apuradas por aplicação direta dos instrumentos listados acima.

2.1 AEROPORTO A

Realizou-se no Aeroporto A substituição das luminárias com lâmpadas incandescentes do balizamento de pista, por luminárias dotadas de tecnologia LED de alta intensidade.

Estas últimas possuíam as seguintes características: luminária elevada com fonte eletrônica de alimentação com grau de proteção IP66, tecnologia Led, emissão de luz na cor branco/branco, 56.000~100.000 horas de funcionamento, lente externa policarbonato translúcido resistente a UV, junta frangível de 2", corpo em alumínio com coluna de acoplamento de 14", pintura amarela epóxi, conexão L-823 style 1 com 500 mm de comprimento (incluso), em conformidade com ICAO (2004).

Foi instalado o analisador de energia AEMC no sistema de balizamento de pista com o intuito de aferir as grandezas elétricas mensuráveis antes e após a implantação da tecnologia LED. Tendo em vista que o circuito de balizamento de pista opera com tensões acima de 1000V, instalou-se o analisador de energia na alimentação do RCC, ou seja, no primário do circuito, onde opera-se com baixa tensão, uma vez que, o citado analisador era limitado a tensões abaixo de 1000V.

2.2 AEROPORTO B

No Aeroporto B foi realizado um projeto piloto de substituição das luminárias convencionais por luminárias LED na Torre de Iluminação de Pátio de Aeronaves, instalado na Torre 1 do Terminal de Passageiros 1 (TPS-1).

Originalmente a torre possuía 8 luminárias com lâmpadas vapor de sódio Philips de 1000 Watts cada, totalizando 8000W, além dos 8 reatores correspondentes. Uma das lâmpadas já se apresentava queimada.

As 10 luminárias LED instaladas em substituição apresentavam potência de 97 Watts, eficiência de 86 lm/W, 8350 lumens e 42 LED por luminária, 30 x 33 x 16 cm, 6,4kg, grau de proteção IP65, bivolt, FP 0,95, temperatura de operação entre -35°C e 50°C, temperatura de cor 4500K, vida útil de 50.000 horas. Modelo Artemis 90W.

Para medição do resultado da iluminação no pátio foi criada uma matriz de medições no local, espaçada a cada 5 metros e a iluminância medida a 2 metros de altura por meio do luxímetro, seguindo os preceitos de ICAO (2014).

2.3 AEROPORTO C

No aeroporto C foi realizada a substituição de 96 lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED tubulares. Estas lâmpadas estavam distribuídas em 24 luminárias que comportavam 4 lâmpadas cada, ao longo do terminal de passageiros. Sendo assim, tais lâmpadas eram responsáveis por iluminação predial interna em área de circulação de pessoas.

As lâmpadas LED tubulares escolhidas para a aplicação eram do fabricante nacional FLC. A escolha do fabricante se deu pelo atendimento a especificações técnicas em licitação pública do tipo menor preço.

As especificações técnicas das lâmpadas fluorescentes tubulares retiradas eram:

- a) Potência: 32W
- b) Tensão de alimentação: 127
- c) Temperatura de cor: 5000K
- d) Eficiência luminosa: 95lm/W
- e) Intensidade luminosa: 1710lm
- f) Frequência elétrica: 60Hz
- g) Fator de potência: >0,90
- h) Abertura do fecho: 150°
- i) Vida útil: 10000h
- j) Diâmetro: 2,6cm
- k) Comprimento: 120cm
- l) Soquete: GU-13
- m) Tipo de driver: reator externo

As especificações técnicas das lâmpadas LED implantadas eram as seguintes:

- a) Potência: 18W
- b) Tensão de alimentação: 100-240V
- c) Temperatura de cor: 6400K
- d) Eficiência luminosa: 95lm/W
- e) Intensidade luminosa: 1710lm
- f) Frequência elétrica: 50/60Hz
- g) Fator de potência: >0,90
- h) Abertura do fecho: 150°
- i) Vida útil: 30000h
- j) Diâmetro: 2,8cm
- k) Comprimento: 120cm

- l) Soquete: GU-13
- m) Tipo de driver: interno

A área do terminal de passageiros do aeroporto C foi dividida em uma matriz de medições composta por 24 pontos localizados sob cada luminária, conforme Figura 1

Figura 1 – Matriz de medições sobre a planta do terminal do aeroporto C



FONTE: Dos autores, 2015

Utilizou-se o luxímetro em cada um destes pontos para verificar a iluminância. Tal procedimento foi aplicado antes e após a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares pela LED tubulares, conforme a norma NBR 8995-1 (2013).

Com o intuito de realizar a avaliação das grandezas elétricas do circuito de iluminação do terminal de passageiros, instalou-se o analisador de energia para mensurar a corrente, potência e fator de potência elétricos, bem como gerar o espectro de componentes harmônicas da instalação nos momentos pré e pós substituição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AEROPORTO A

Observou-se que a potência total foi reduzida de 12,35 kW para 2,24 kW, o que representa redução de 82%. Isso implica em redução consequente de 82% do consumo de energia no balizamento LED.

Outro ponto importante observado foi a elevação do fator de potência de 0,90 para 0,99. De certa forma, este aumento contraria o esperado para um sistema LED, pois segundo Martinho (2012), os transistores de potência da fonte causariam injeção de harmônicas no circuito e, em consequência, reduziriam o fator de potência. Entretanto, ao ser realizada a substituição do balizamento de pista convencional por um sistema LED, substituiu-se

também, o Transformador de Corrente Constante (TCC) por uma fonte eletrônica, desenvolvida exclusivamente para sistemas LED. Tal fonte possuía como características construtivas o alto fator de potência e atenuação de distorções harmônicas.

As luminárias LED, por sua vez, não possuíam qualquer dispositivo atenuador. Contudo, não foi possível medir o espectro harmônico destes equipamentos, pois eles operam em tensão acima de 1000V e o analisador de energia utilizado neste trabalho não operava nesta faixa de tensão.

Houve relatos informais de pilotos de aeronaves que perceberam substancial melhora na intensidade luminosa do balizamento de pista LED em relação ao convencional, o que implica em melhores condições visuais para pouso.

3.2 AEROPORTO B

A existência de um finger (ponte de embarque) causou sombras em alguns pontos de medição. Assim como a própria estrutura do TPS-1 que causou sombra na parte próxima à base da torre. Desconsiderados esses pontos de interferência do finger e da sombra do prédio, a iluminância média foi de 17,4 lux.

Essas interferências causaram a redução da iluminância média, pois os locais de maior intensidade estão situados próximos à base da torre.

Ao lado da torre LED encontrava-se uma outra torre com 4 luminárias vapor de sódio 1000W cada, totalizando 4000W, projetados no mesmo sentido daquela. Percebe-se intensidade da iluminância em ambos locais muito semelhantes, diferindo não mais que 20% da torre sódio em relação à torre LED. A temperatura de cor do LED era de 4500K, e a diferença para as luminárias atuais era visível, sendo a LED mais branca que a vapor de sódio.

Desta forma, conclui-se que uma torre vapor de sódio com 4,0 kW de potência poderia ser substituída por uma torre LED com 0,97 kW de potência sem prejuízo da operação aeroportuária e atendendo à ICAO (2004), atingindo-se assim uma equiparação ideal entre o existente e o LED.

A emissão de ondas na frequência infravermelho, que é atrativo de insetos (BARGHINI; URBINATTI; NATAL, 2004), ocorre em menor intensidade nas lâmpadas LED. Os insetos, por sua vez, são atrativos de fauna, que é um risco para a aviação.

A redução potência de 8,0 kW do para 0,97 kW deverá trazer economia de R\$8.000,00 ao ano, considerando-se neste cálculo os custos tarifários do ano de 2015. Não foram considerados o consumo dos reatores antigos, que seriam ainda mais vantajosos à substituição.

Caso haja substituição das demais torres de iluminação de pátio do Aeroporto C, pode-se realizar redução da demanda de energia contratada junto a concessionária, o que implicaria redução dos custos de energia para além da redução do consumo, simplesmente.

Conforme observado no momento da instalação, muitas luminárias careciam de manutenção, por estarem queimadas a lâmpada ou o reator. Os equipamentos antigos são dispositivos elétricos e eletrônicos com alto índice de falhas, portanto a manutenção se torna cara pelo volume de trocas e pelo peso inconveniente para manipulação a 30 metros de altura do solo, além da exposição do vento e do sol sobre os técnicos, o que torna elevado o tempo da operação.

O ângulo de projeção do LED era menor do que nas lâmpadas convencionais, portanto a área útil da iluminação é melhor aproveitada. A projeção da iluminação pode ser planejada de forma a reduzir o ofuscamento ao piloto das aeronaves.

3.3 AEROPORTO C

Os dados obtidos pelo analisador de energia mostraram redução significativa nos níveis de corrente e potência ativa. A corrente foi reduzida em 33,20% e a potência em 34,24%, o que implica a mesma redução no consumo de energia. Todavia, houve substanciais incrementos na distorção harmônica total de corrente e tensão, respectivamente, 15,57% e 202,30%.

Observou-se também, uma pequena redução no fator de potência de 0,98 para 0,96, em virtude do aumento da potência reativa, como consequência do chaveamento da fonte de tensão das lâmpadas LED, o chamado Drive.

A análise das Figuras 16 e 17, as quais apresentam os valores percentuais para as componentes harmônicas de tensão e de corrente, até a décima terceira ordem, mostrou que não houve significativa modificação no espectro harmônico de tensão, quando consideradas componentes a componentes.

Entretanto, no que diz respeito ao espectro harmônico de corrente, houve grande incremento nas componentes de ordem ímpar. Segundo Martinho (2012), elevados níveis de componentes harmônicas de ordem ímpar, em circuitos fase-neutro, promovem aquecimento do neutro, quando este não possui dimensionamento adequado para suportar tais correntes.

Contudo, foi observado que a corrente no circuito com lâmpadas LED era 14,14 A e que o condutor de neutro possuía seção transversal de 2,5 mm², o qual suportaria corrente de 26 A. Sendo assim, o incremento do nível de correntes harmônicas de ordem ímpar não afetaria o condutor de neutro e, conseqüentemente, o sistema elétrico de iluminação do terminal de passageiros do aeroporto C.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir, por meio das três implantações nos aeroportos estudados que os equipamentos de iluminação LED possuem superioridade luminotécnica em relação aos demais equipamentos existentes na base instalada. Isto ficou claro diante dos resultados de medição de iluminância nos aeroportos B e C e, empiricamente, com o relato do pilotos de aeronaves a respeito do balizamento de pista do Aeroporto A. Sendo assim, com os instrumentos disponíveis para medições em campo, onde não se dispõe de condições controladas como as de um laboratório de fotometria, a tecnologia de iluminação LED é recomendada para aplicação em infraestrutura aeroportuária.

Do ponto de vista eletrotécnico, os níveis de distorção harmônica de corrente apresentados pelas medições no Aeroporto C, os quais de certa forma eram previstos pelos referenciais teóricos, apontam para a necessidade de cuidados especiais com o uso indiscriminado de lâmpadas LED, quando o conjunto destas apresentar correntes limites à capacidade de condução de corrente dos condutores, especialmente condutores neutros, os quais deverão ser redimensionados em conformidade com a norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Em casos de sistemas eletrônicos sensíveis a

perturbações eletromagnéticas, torna-se adequado o uso de dispositivos mitigadores de distorções harmônicas.

Uma observação importante feita durante a implantação da tecnologia LED em balizamentos de pista é que há sistemas mistos sendo instalados. Ou seja, em alguns sistemas de balizamento de pistas, luminárias LED estão sendo instaladas mantendo-se a fonte (Transformador de Corrente Constante) dos sistemas convencionais. Esta prática pode ser prejudicial às instalações aeroportuárias, pois não há circuitos ou dispositivos para filtragem de componentes harmônicas. A investigação desta situação e suas consequências pode ser tema de futuros estudos em Engenharia Elétrica.

No aspecto técnico-econômico, a reduzida potência do LED implica em proporcional redução no consumo de energia e equivalente redução nos custos deste consumo. A maior vida útil do sistema LED deverá resultar em maior tempo de disponibilidade da iluminação. As frequentes queimas de lâmpadas e reatores dos sistemas convencionais resultam em perdas econômicas, as quais serão reduzidas com a utilização do LED. Os custos de manutenção, por sua vez, serão reduzidos em função da maior vida útil e da isenção de reatores externos às lâmpadas.

No início do desenvolvimento da tecnologia LED os custos de aquisição eram extremamente elevados. Atualmente, é possível elaborar e executar projetos com lâmpadas LED a custos viáveis, especialmente, no tocante a iluminação ambiente, a qual conta com lâmpadas no mercado de preço equivalente às convencionais.

Contudo, os técnicos envolvidos nos projetos devem ser cautelosos ao especificarem sistemas de iluminação LED. Características como o fator de potência e a taxa de distorção harmônica devem ser bem dimensionadas com o intuito de minimizar os impactos negativos do LED nestes aspectos.

Sugere-se, então, que fator de potência maior que 0,90, taxa de distorção harmônica total de corrente menor que 10%, índice de reprodução de cores maior que 75 e vida útil maior que 30.000 horas são especificações adequadas e razoáveis a uma implantação de tecnologia LED.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica-PMPIT da Universidade Federal do Triângulo Mineiro-UFTM.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: norma brasileira para instalações elétricas em baixa tensão. Rio de Janeiro. 2004. 209p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: norma brasileira para iluminação de ambientes de trabalho: Parte 1 - Interior. Rio de Janeiro. 2013. 46p.

AGUILLERA, M. A. Revista O Setor Elétrico. 110 ed. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2015, Março 2015. ISSN 1983 – 0912

ALEXANDER, C. K. ; SADIKU, M. N. O. Circuitos elétricos. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 894 p.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 641/2014, vigente a partir 01/01/2015.

BARGHINI, A.; URBINATTI, P.; NATAL, D. Atração de mosquitos (Diptera: Culicidae) por lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Entomol. vectores, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 611-622, Dec. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0328-03812004000400005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02out. 2015.

BARBOSA, A. ; SIRIACO, M. Revista Eletricidade Moderna. Edição 486. São Paulo: Aranda Editora Técnica e Cultural, 2014, Setembro 2014. ISSN 0100 – 2104

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 649 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Da Ciência e Tecnologia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Regulamentação específica que define níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. Portaria n. 1.007, de 31 de dezembro de 2010.

COTRIM, A. A. M. B. Instalações elétricas. 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008. 496 p.

GODOY, P. Fotometria Básica. Revista O Setor Elétrico. 110 ed. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2015, Março 2015. ISSN 1983 – 0912

GOEKING, W. Lâmpadas e LEDs. Revista O Setor Elétrico. 46 ed. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2009, Novembro 2009. ISSN 1983 – 0912

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Aerodrome Design Manual: Part 4 Visual Aids. Quebec, Canadá, 2004

IWASHITA, J. Eficiência energética em sistemas de iluminação de interiores: análise de luminárias comerciais. 2004. 205f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

IWASHITA, J. Revista O Setor Elétrico. 68 ed. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2011, Setembro 2011. ISSN 1983 – 0912.

MAGALHÃES, L. A. P. Análise técnica da utilização de luminárias com tecnologia LED em sistemas de iluminação de aeroportos. 2015. 157f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia) – Universidade de Salvador, Bahia, 2015.

MALVINO, A. P. Eletrônica. 4 ed. São Paulo: Pearson Education, 2007. 747 p.

MAMEDE FILHO, J. Instalações elétricas industriais. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 914 p.

MARTINHO, E. Distúrbios da Energia Elétrica. 2 ed. São Paulo: Érica, 2012. 140p.

PAULILO, G. Conceitos gerais sobre qualidade de energia. Revista O Setor Elétrico. Edição 84. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2013, Janeiro 2013. ISSN 1983 – 0912

RYCKAERT, W.R.; SMET, K.A.G.; ROELANDTS, I.A.A.; VAN GILS, M.; HANSELAER, P. Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. Energy and Buildings, v. 49, p.429-436, 2012.

STAROSTA, J. Flutuação de tensão (Flicker). Revista O Setor Elétrico. 72 ed. São Paulo: Atitude Editorial Publicações Técnicas, 2012, Janeiro 2012. ISSN 1983 – 0912