

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAICON BARBIERI

**INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA EM REATORES PARA
LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO**

**Alegrete, RS
Julho de 2015**

MAICON BARBIERI

**INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA EM REATORES PARA
LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do Curso de Engenharia Elétrica do Campus Alegrete da Fundação Universidade Federal do Pampa, área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: José Wagner Maciel Kaehler

**Alegrete, RS
Julho de 2015**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B23 Barbieri, Maicon Investigação da qualidade de energia
6i em reatores para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão
/ Maicon Barbieri. 96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2015.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

1. Eficiência Energética. 2. Qualidade de energia. 3. Reator eletrônico para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão. 4. Estimativa de vida útil de capacitor eletrolítico. I. Título.

MAICON BARBIERI


**INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA EM REATORES PARA
LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

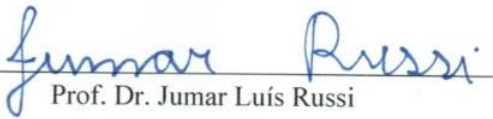
Área de Concentração: Eficiência Energética

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 6 de julho de 2015.

Banca examinadora:


Prof. Dr. José Wagner Máciel Kaehler
Orientador


Prof. Me. Guilherme Sebastião da Silva
UNIPAMPA


Prof. Dr. Jumar Luís Russi
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

A minha família e principalmente ao meu irmão, Luiz Antônio, pelo apoio e direção para conseguir alcançar o objetivo.

Aos amigos, Jackson Gabe e Willian Deliberalli, pelo apoio incondicional ao longo deste caminho.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos – EIRE, Douglas Adolpho, Lucas Dorneles e Nathalie Lunardi, pelo apoio e parceria para qualquer atividade e construção da câmara escura para o Goniôfotômetro.

A parceria, Prefeitura Municipal de Alegrete, pela disponibilidade de material para realizar as análises.

Ao Grupo Singel e o Sr. Flamarion Zanchi, pela disponibilidade de material e confiança para a investigação dos reatores e oportunidade de estágio.

Ao professor, Dr. José Wagner Maciel Kaehler, pela orientação e confiança depositada nas análises juntamente com o fabricante italiano.

Faz-se Luz

*Faz-se luz pelo processo de eliminação de sombras
Ora as sombras existem as sombras têm exaustiva vi-
da própria não dum e doutro lado da luz mas no pró-
prio seio dela intensamente amantes loucamente
amadas e espalham pelo chão braços de luz cinzenta
que se introduzem pelo bico nos olhos do homem*

*Por outro lado a sombra dita a
luz não ilumina realmente os ob-
jectos os objectos vivem às escu-
ras numa perpétua aurora surrea-
lista com a qual não podemos
contactar senão como amantes de
olhos fechados e lâmpadas nos
dedos e na boca.*

Mário Cesariny de Vasconcelos, in "Pena Capital"

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma avaliação sobre a qualidade energética de reatores para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão utilizados em áreas externas como na rede pública de iluminação ou em áreas de estacionamento. Foram conduzidos testes de performance nestes sistemas de controle de corrente. Para fins de comparação de desempenho, as atividades envolveram tanto ensaios em reatores eletromagnéticos disponíveis no mercado e os reatores eletrônicos que estão começando a entrar no mercado brasileiro, buscando analisar o potencial de substituição dos reatores convencionais. Como o reator eletrônico em estudo se trata de um produto que ainda não disponível no mercado, serão investigadas as normas, tanto nacionais como internacionais, assim como as características relevantes para a entrada desse produto no mercado na forma mais viável possível.

Palavras-chave: Iluminação Pública; Eficiência Energética; Gestão pelo Lado da Demanda - GLD.

ABSTRACT

This paper presents an assessment of the energy quality reactors for high-pressure sodium vapor lamps used outdoors as in public lighting or parking areas. Performance tests were conducted on these current control systems. For performance comparison purposes, the activities involved both trials electromagnetic ballasts available on the market and electronic ballasts that are beginning to enter the Brazilian market, trying to analyze the potential of replacing conventional ballast. As the electronic ballast in study is a product not yet on the market, the rules were investigated, both national and international, and relevant features for entry of that product on the market as viable as possible.

Keywords: Public Lighting; Energy Efficiency; Demand Side Management - DSM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição da lâmpada HPS.....	20
Figura 2 - Uso da potência na lâmpada HPS.....	20
Figura 3 - Imagem ilustrativa do projetor utilizado.....	24
Figura 4 - Comportamento da variação do fluxo luminoso com a variação de potência.....	25
Figura 5 - Curva de Distribuição Luminosa de lâmpada HPS.....	26
Figura 6 - Luxímetro Digital ICEL LD-800 Aferido com Certificação INMETRO.....	26
Figura 7 - Tabela de Eficiência Luminosa para diversos tipos de lâmpadas.....	27
Figura 8 - Ilustração do funcionamento da distribuição da luz.....	29
Figura 9 - Orientação da luminária com goniofotômetro.....	31
Figura 10 - CDL de lâmpada HPS.....	32
Figura 11 - Partes principais do Goniofotômetro.....	40
Figura 12 - Certificação HOPOO de lâmpada incandescente.....	41
Figura 13 - Esboco da câmara escura construída.....	42
Figura 14 - Fotometria da lâmpada certificada e respectivos valores.....	42
Figura 15 - YOKOGAWA WT3000 – PRECISION POWER ANALYZER.....	43
Figura 16 - MIXED SIGNAL OSCILLOSCOPES DLM2054.....	44
Figura 17 - Termovisor FLIR T420.....	45
Figura 18 - Sistema para teste da Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão com reator ferromagnético.....	45
Figura 19 - Sistema para teste da Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão com reator eletrônico.....	46

Figura 20 - Imagem ilustrativa do Dibawatt.....	47
Figura 21 - Demonstrativo do comportamento do Dibawatt comparando produtos ferromagnéticos	49
Figura 22 - Condutores de conexão à rede	49
Figura 23 - Gráfico da variação do Fluxo Luminoso versus frequência da lâmpada.....	51
Figura 24 - Comparativo percentual reator eletrônico versus eletromagnético.....	53
Figura 25 - Perfis de Corrente e Tensão de entrada	54
Figura 26 - Perfis de Corrente e Tensão de saída	54
Figura 27 - Perfis de Corrente e Tensão de entrada operando em circuito aberto	55
Figura 28 - Comparativo do perfil harmônico de acordo com as normas e os valores medidos	55
Figura 29 - Principais resultados da análise com goniofotômetro.....	63
Figura 30 - Divisão dos módulos ajustáveis por pré-definição	66
Figura 31 - Comportamento da tensão e corrente do Dibawatt ao longo da integralização.....	72
Figura 32 - Comportamento da tensão e corrente do Philips ao longo da integralização	73
Figura 33 - Comportamento das potências do Dibawatt ao longo do período de integralização	73
Figura 34 - Comportamento das potências do Philips ao longo do período de integralização.....	74
Figura 35 - Comportamento do Dibawatt em modo dimerizável ao longo do período de integralização.....	75
Figura 36 - Comportamento do Dibawatt em modo de potência reduzida.....	76
Figura 37 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 70W	81
Figura 38 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 150W	83
Figura 39 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 250W	84
Figura 40 - Grade de imagens reais e térmicas dos produtos	88
Figura 41 - Gráfico da estimativa da vida útil do capacitor em função da temperatura.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos reatores eletromagnéticos	22
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos reatores eletrônicos	22
Tabela 3 - Perda máxima dos reatores.....	35
Tabela 4 - Limites para emissão de harmônicas de corrente.....	36
Tabela 5 - Especificações dos produtos.....	52
Tabela 6 - Comparativo Energético 70W.....	56
Tabela 7 - Matriz de medição de iluminamento 70W	57
Tabela 8 - Comparativo energético 150W.....	58
Tabela 9 - Matriz de medição de iluminamento 150W	58
Tabela 10 - Comparativo energético 250W.....	59
Tabela 11 - Matriz de medição de iluminamento 250W	60
Tabela 12 - Matriz de medição de iluminamento 70W em 50 Hz	60
Tabela 13 - Eficiência Energética.....	61
Tabela 14 - Consumo em vazio (%).....	61
Tabela 15 - Medição de iTHD dos reatores.....	62
Tabela 16 - Eficiências e Fluxos Luminosos dos produtos analisados	63
Tabela 17 - Rendimento do Projetor	64
Tabela 18 - Análise das variáveis em sistema estabilizado.....	67
Tabela 19 - Comparativo percentual de redução de energia	67
Tabela 20 - Ensaio em vazio	67

Tabela 21 - Comparativo energético da variação de consumo com a queima da lâmpada	68
Tabela 22 - Perdas elétricas	69
Tabela 23 - Resposta à variação de tensão	71
Tabela 24 - Reatores e lâmpadas utilizadas.....	77
Tabela 25 - Análise de equivalência dos produtos 70W	78
Tabela 26 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 70W	79
Tabela 27 – Resultado da variação de tensão do Philips 70W	80
Tabela 28 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 150W	81
Tabela 29 - Resultado da variação de tensão do Philips 150W	82
Tabela 30 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 250W	83
Tabela 31 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 250W	84
Tabela 32 - Percentual de redução com alteração do modo de operação	85
Tabela 33 - Eficiência Energética.....	85
Tabela 34 – Parâmetros resultantes do datasheet e equacionamento	89

SUMÁRIO

Agradecimentos	19
RESUMO.....	21
ABSTRACT	22
Lista de figuras	23
Lista de Tabelas.....	25
Sumário	27
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Organização do Trabalho	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Estrutura e funcionamento da lâmpada de vapor de sódio	19
2.2 Controlador de corrente	21
2.3 Controlador de Luz	23
2.4 Rendimento ótico.....	23
2.5 Conceitos básicos de iluminação	24
2.6 Eficiência Energética	33
2.7 Normas.....	33
2.8 Regulamentação do Fornecimento de Energia Elétrica	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE	39
3.1 Goniofotômetro.....	39
3.2 Analisador de Energia.....	43
3.3 Osciloscópio.....	44
3.4 Termovisor	44
3.5 Sistema de teste 1.....	45
3.6 Sistema de teste 2.....	45
4 INVESTIGAÇÃO DIBAWATT NG E N	47

4.1	DIBAWATT® NG e N.....	47
4.2	Procedimentos.....	52
4.3	Resultados alcançados	52
4.4	Formas de ondas características.....	53
4.5	Perfil das harmônicas.....	55
4.6	Testes para HPS 70W	56
4.7	Testes para HPS 150W	58
4.8	Testes para HPS 250W	59
4.9	Resumo da primeira investigação	61
4.10	Eficiências e Fluxos Luminosos dos reatores	62
4.11	Rendimento do projetor	64
5	INVESTIGAÇÃO DIBAWATT NX	65
5.1	DIBAWATT® NX	65
5.2	Análise das características elétricas	66
5.3	Análise das características Fotométricas	77
5.4	Eficiência energética do produto Dibawatt® NX.....	85
5.5	Método para cálculo de vida útil do alimentador Dibawatt® NX.....	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
7	TRABALHOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1 INTRODUÇÃO

*“No início tu eram trevas..
e a LUZ se fez”*

Gênesis 1,3

Os sistemas de iluminação pública representam serviços indispensáveis na infraestrutura urbana e devem ser projetados, visando assegurar as condições de segurança e conforto visual tanto de transeuntes como dos veículos que trafegam pelas vias públicas. Os cidadãos dependem destes serviços e demandam uma oferta de alta qualidade destes. Por outro lado, a instalação de iluminação é uma grande carga de demanda e de consumo de energia. Sendo assim, esta é afetada por fatores tais como controle, regulação e manutenção.

A criação de programas que incentivassem a promoção da racionalização da produção e do consumo de energia elétrica no país se tornou ainda mais necessária, a partir da crise de energia do ano de 2001. A ELETROBRAS criou programas como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), já na década de 1980, para incentivar e auxiliar os municípios brasileiros a fazer o uso responsável da energia e sem desperdícios. Várias discussões e estudos também foram elaborados, objetivando a elaboração de Planos de Gestão de Energia Elétrica, onde a iluminação pública tornou-se um dos temas mais abordados.

Com o objetivo de se obter uma significativa redução de demanda no horário de ponta do sistema elétrico (19h às 21h), a implementação do Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficiente - “ReLuz”, tornou-se ainda mais evidente, por promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública, capazes de propiciar em muitos casos, a redução do consumo de energia com melhoria do nível de iluminação.

De acordo com (CASTRO, et al., 2011), o consumo mundial com sistemas de iluminação é de, aproximadamente, 212 TWh/ano, sendo que este pode ser reduzido por 15-20%, ou mais, usando-se tecnologias mais eficientes. Em 2012 (EPE, 2013), o Brasil teve um consumo de 12,916 bilhões de kWh/ano nesta área, correspondente a 2,9% do consumo e 4,5% da

demanda total do país. As regiões Sul e Sudeste foram as que tiveram menor aumento (2,5%) de consumo quando comparado aos valores de 2011, justificando que estas estão investindo em tecnologias mais eficientes na tentativa de segurar o aumento do consumo com a expansão do sistema em questão.

Conforme (DALLA COSTA, et al., 2010) os sistemas de iluminação pública convencionais são baseados em reatores eletromagnéticos que alimentam lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (high-pressure sodium ou HPS). Estas lâmpadas são atrativas por possuírem alto fluxo luminoso (7000–40000 lm); longa vida útil (5000-22000 h) e alta eficiência luminosa (40-140 lm/W) (VAN VLIET; DE GROOT, 1981), trazendo como desvantagem a monocromaticidade da radiação luminosa.

Como as lâmpadas HPS não podem ser conectadas diretamente a rede elétrica, o uso de reatores acaba por se tornar mandatório. Isto resulta do fato de que, para sua partida, é necessário prover uma sobre tensão de alguns kV e, para limitar a corrente, um reator é instalado em série com a lâmpada (DOLARA, et al., 2010). Nestas condições, a corrente absorvida encontra-se defasada em relação à tensão e apresenta uma considerável quantidade de distorção (CASTRO, et al., 2010).

De acordo com (BRAGA, et al., 2010) a literatura tem abordado, nos últimos anos, a importância sobre a qualidade dos componentes e processos relativos às lâmpadas HPS, dando especial atenção aos padrões de qualidade para a aquisição dos reatores usados. Esta preocupação visa atender requisitos de custos, com mínimo desperdício, tanto de energia quanto de materiais, com vistas à maior eficiência energética. Assim, uma preocupação especial refere-se ao comportamento elétrico dos componentes dos sistemas de iluminação pública, especificamente sobre os impactos sobre a qualidade da energia e as perdas relacionadas à operação de reatores.

1.1 Justificativa

Como visto, nos sistemas de iluminação pública, predominam o uso de lâmpadas HPS que oferecem uma opção de iluminação eficiente. No entanto, o grande problema encontra-se no fato de que este tipo de carga é alimentado pela rede, em média, 12 horas por dia, durante

os 365 dias do ano. Como consequência, constitui-se em um serviço de segurança e conforto visual cujo fator de carga anual é de 50%.

Isto implica na necessidade de revisão contínua das condições com que estes equipamentos usam a energia da rede elétrica. Faz-se necessário garantir não somente a eficiência energética como também a qualidade da energia, gerando o mínimo de harmônicos. Logo, pesquisar suas particularidades e adequabilidade aos serviços requeridos impõem ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico gerando a inovação.

Estima-se que existem em torno de 14,7 milhões de pontos de iluminação pública no Brasil (ELETROBRAS PROCEL, 2011), sendo que mais de 60% destes pontos foram eficientizados utilizando HPS. O número de pontos não tende a diminuir com a inserção de novas tecnologias, e sim, apenas a diminuição da potência instalada devido à efficientização.

1.2 Objetivos

Considerando o contexto acima apresentado, este trabalho tem o propósito de fazer uma análise qualitativa das condições operacionais dos reatores eletromagnéticos utilizados no sistema de iluminação pública gerenciados pela Prefeitura Municipal da cidade de Alegrete em face dos reatores eletrônicos disponibilizados pela empresa SINGEL, com o propósito de adequá-los aos requisitos da norma brasileira.

1.2.1 Objetivos específicos

Avaliar as respostas comportamentais de lâmpadas de HPS de 70, 150 e 250 W, equipadas com reatores eletrônicos e eletromagnéticos analisando as características de corrente e de tensão harmônica nestes dispositivos.

Reavaliar as características elétricas e luminosas de utilização do reator eletrônico Dibawatt, propondo medidas de adequação associadas à eficiência energética.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho é composto por sete capítulos.

O capítulo 1 apresenta uma introdução geral ao tema, bem como objetivos e objetivos gerais e a justificativa da realização do trabalho.

O capítulo 2 trata da revisão da literatura, dos conceitos básicos de iluminação, controladores de corrente e luz. Também são abordadas as normas utilizadas, a eficiência energética e regulamentos básicos do fornecimento de energia elétrica aplicado a iluminação pública.

O capítulo 3 aborda os materiais e métodos utilizados no trabalho.

O capítulo 4 aborda a primeira avaliação sobre os reatores eletromagnéticos das marcas JEBI e LUMER, usados pela Prefeitura Municipal de Alegrete e compara-os com outros reatores das marcas disponíveis no mercado, INTRAL e PHILIPS também eletromagnéticos e o reator eletrônico Dibawatt da MENOWATT, modelos NG e N. Como estes foram reprovados no primeiro teste, os mesmos não serão utilizados para comparativos no próximo capítulo.

O capítulo 5 aborda a análise do novo produto Dibawatt, modelo NX, fabricado após análise dos modelos NG e N constatarem a ineficiência dos mesmos.

O capítulo 6 trata das considerações finais. O capítulo 7 trata dos trabalhos futuros. E, por último, as referências bibliográficas utilizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, uma grande preocupação está no fato das lâmpadas de descarga apresentarem efeitos harmônicos nas redes de iluminação dependendo do equipamento de controle e idade da lâmpada. Por exemplo, vários problemas têm ocorrido no campo da iluminação por conta do uso de reatores eletrônicos, tais como falha prematura de reatores, lâmpadas e sensores, má operação de sistemas de gestão energética, de dispositivos eletrônicos de consumidores e mesmo dispositivos de manutenção de saúde.

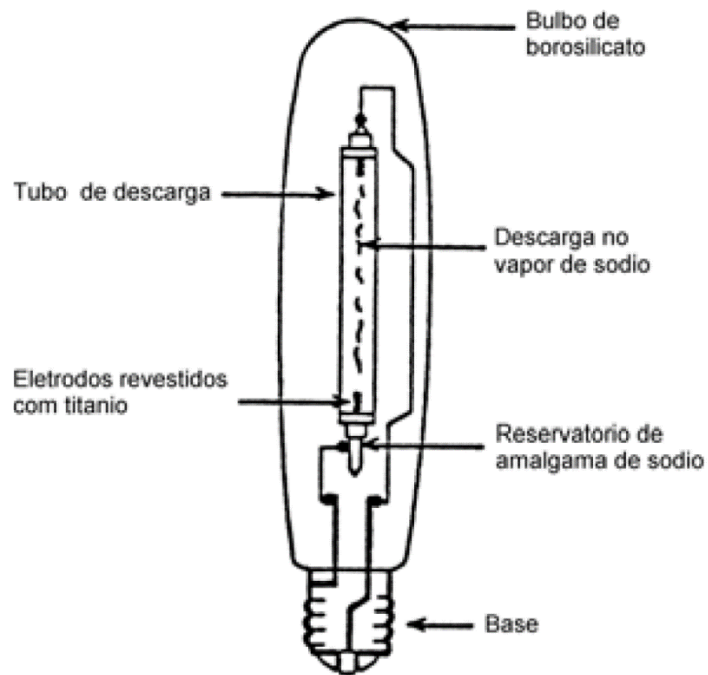
2.1 Estrutura e funcionamento da lâmpada de vapor de sódio

As lâmpadas HPS contêm elementos químicos adicionais, como o mercúrio. Em consequência produzem uma luminosidade rosada quando são acesas, evoluindo gradualmente para uma luz suave de cor alaranjada quando aquecem. Alguns modelos de lâmpadas que usam esta tecnologia produzem no arranque uma luz azulada, resultante da emissão do mercúrio antes do sódio estar suficientemente aquecido e ionizado para formar um plasma (IBAM/PROCEL, 2004).

O bulbo externo (Fig.1) serve como proteção contra agentes oxidantes dos eletrodos, evitando variações bruscas da temperatura interna dos componentes da lâmpada (WUERGES, 2004).

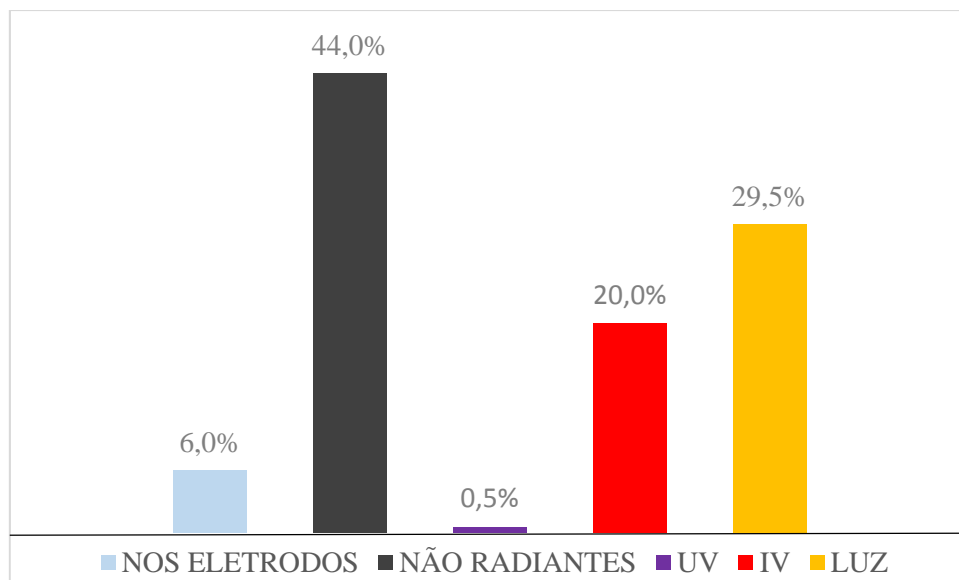
Além de ter-se uma lâmpada de grande eficiência luminosa (40-140 lm/W), tem-se que ela apresenta grandes perdas por aquecimento e radiação (Fig. 2), restando apenas 29,5% da potência inicial transformada em luz visível.

Figura 1 - Composição da lâmpada HPS



Fonte: Sylvania (1972)

Figura 2 - Uso da potência na lâmpada HPS



Fonte: Costa (2000)

O índice de reprodução de cor (IRC), destes 29,5% transformados em luz, varia entre 22 e 25, que é considerável razoável para iluminação onde não existe necessidade de uma reprodução fiel das cores.

A vida útil deste tipo de lâmpada é determinada pelo aumento da tensão de arco. O aumento é causado principalmente pela perda do vapor de sódio e a qualidade da energia de alimentação da mesma. Temos então que a curva média de mortalidade é de que aproximadamente 50% das lâmpadas permanecem acesas ao final de 32.000 horas (vida mediana).

Quando se fala da depreciação do fluxo luminoso, a lâmpada possui excelente fator de manutenção, tendo um decrescimento gradual e chegando ao final da sua vida mediana com uma intensidade média de 90% do valor inicial (SYLVANIA, 1972).

A característica de redução de fluxo luminoso está associada ao aumento da tensão do arco voltaico, estimado em 1,2V para cada 1.000 horas de utilização (KAISER, 2002). Este aumento é provocado pela diminuição da pressão dos gases que compõe a mistura dentro do tubo de descarga, devido a gradual impregnação de sódio nas paredes do tubo.

Conforme catálogo dos fabricantes as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão são projetadas para serem instaladas em qualquer posição. Esta dependerá somente do tipo de iluminamento que se quer, seja ele direto ou indireto.

2.2 Controlador de corrente

Considerando o projeto de reatores para lâmpadas HPS, o projetista é obrigado a lidar com inúmeras características da lâmpada, tais como a ignição e a estabilização. Em reatores eletromagnéticos convencionais, isto é feito, em geral, por meio do uso de um indutor como elemento estabilizador da corrente. O capacitor é responsável pela qualidade da energia injetada na rede e na lâmpada. Sem ele o fator de potência seria muito baixo, em torno de 0,3 para um reator de 250W, e, conseqüentemente a vida da lâmpada reduziria drasticamente.

No entanto, para reatores eletrônicos, o projetista considerará também aspectos como o comportamento dinâmico da lâmpada, que pode ser vista como um elemento com impedância incremental (ALONSO, et. al., 2005) o que a torna sensível a variações e/ou distorções de corrente e tensão.

Frequentemente a lâmpada é modelada e observada como um componente cujos parâmetros podem levar a um sistema instável (MOLINA, et. al., 2013), o que demanda técnicas de controle cuidadosamente calculadas e implementadas. Reatores eletrônicos inadequadamente controlados podem levar ao comportamento errático da lâmpada, tais como o aparecimento de ressonância acústica, que leva a arcos instáveis e a extinção dos arcos.

Segundo CASTRO, et. al., 2011 as vantagens e desvantagens dos reatores eletromagnéticos e eletrônicos podem ser resumidas de acordo com as tabelas Tabelas 1 e 2. Ao se focar em reatores eletrônicos dimerizáveis, ainda ter-se-á que considerar uma maior capacidade de economia de energia (até 50%), robustez e confiabilidade, larga faixa de dimerização, possibilidade de controle sem fio para uniformizar a iluminação, dentre outras características. Como observado, do ponto de vista econômico, verifica-se uma tendência à ampliação cada vez maior de reatores eletrônicos.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos reatores eletromagnéticos

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de aquisição e manutenção	Não dimerizável (no passado)
Vida útil elevada (> 30 anos a 105°C)	Não econômica (no passado)
Suporta condições climáticas variadas;	Efeitos de cintilação (flickering)
Ambientalmente amigável – permite reciclagem dos componentes.	Ressonância acústica
Característica auto-recuperável (quando a rede CA se recupera após uma falta)	

Fonte: CASTRO, et. al. (2011)

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos reatores eletrônicos

Vantagens	Desvantagens
Dimerizável	Custos de manutenção, aquisição e reparo elevados
Sem cintilação	Vida útil curta
Aumento da vida útil da lâmpada (até 30%)	Baixa imunidade às condições climáticas
Energeticamente econômico (consumo de até 13%)	Não é ambientalmente amigável - usa componentes eletrônicos não recicláveis
Alta eficiência	Sem auto recuperação
Baixo ruído audível	
Dimensões físicas reduzidas	

Fonte: CASTRO, et. al. (2011)

Em sistemas de iluminação pública, a escolha dos reatores mais adequados apresenta impactos consideráveis sobre os níveis de iluminação propriamente ditos e da eficiência com que a energia é utilizada, isto é, um problema de qualidade da energia. Portanto, o comportamento operacional dos reatores, tanto eletrônicos quanto eletromagnéticos, deve ser bem conhecido pelos gestores para que estes possam selecionar os dispositivos mais adequados às suas necessidades e especificações.

O alimentador eletrônico dimerizável por lâmpada HPS, com o nome DIBAWATT[®], será o alvo principal da investigação e está sendo projetado para atender todas as normas mundiais e, principalmente, atender a variação de tensão, mantendo constante a sua potência entregue à lâmpada, garantindo maior segurança, conforto visual e vida útil à carga. Este produto será apresentado posteriormente.

2.3 Controlador de Luz

Um controlador de luz resume-se a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas, podendo ser do tipo projetor, refletor, refrator, difusor, lente ou colmeia. O tipo de refletor utilizado irá influenciar consideravelmente no rendimento do sistema de iluminação.

As luminárias mais modernas e eficientes utilizam predominantemente o efeito de reflexão da luz através de superfícies altamente reflexivas de seu refletor. O refrator em vidro plano ou policarbonato é usado somente para proteção. O refrator plano reduz sensivelmente o ofuscamento e apresenta melhor rendimento (IBAM/PROCEL, 2004).

2.4 Rendimento ótico

Rendimento ótico é a relação entre o fluxo total emitido pela luminária, tomando como base o fluxo de uma lâmpada ou conjunto instalado na própria luminária.

Antigamente, os controladores de luz tinham rendimentos muito baixos, inferiores a 30%, e serviam mais para proteção da lâmpada. Estudos atuais constataam que se pode criar produtos que conseguem rendimento superiores a 80%.

A seguir (Fig.3) é mostrada a imagem do projetor que será utilizado na avaliação. Trata-se de um projetor retangular de alumínio tradicional com soquete E40 e dimensões para suportar lâmpada HPS de até 400 Watts. Este foi adotado devido a vasta utilização, pois serve

para uso externo ou interno, fachadas, jardins, galpões industriais, quadras esportivas, campos esportivos, pátios, estacionamentos, painéis, outdoors, praças, monumentos, etc.

Figura 3 - Imagem ilustrativa do projetor utilizado



Fonte: Olivo (2014)

2.5 Conceitos básicos de iluminação

Segundo (COSTA, 2006) as grandezas básicas utilizadas em iluminação são regidas pelas leis da ótica energética e fotometria. A ótica energética é mais abrangente e atinge todo domínio da iluminação. Já a ótica fotométrica está ligada diretamente com o ato de ver.

Das grandezas de base, três são fundamentais: massa, comprimento e tempo. A estas se une outra que irá complementar o sistema de medidas. Em luminotécnica, a quarta unidade é a intensidade luminosa, expressa em candela (cd), sendo que as demais são derivadas.

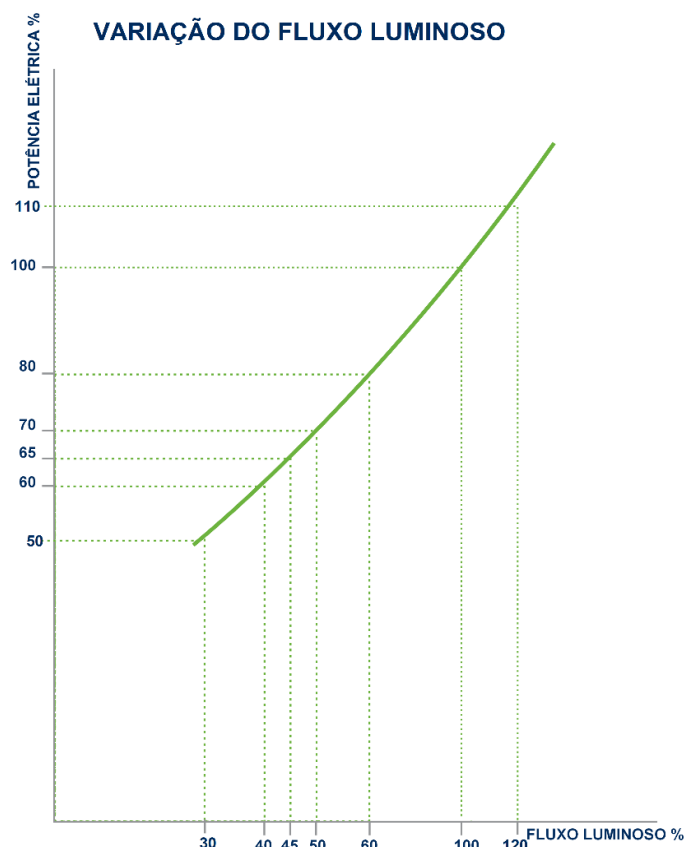
2.5.1 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço e avaliada pelo olho humano. A unidade é o lúmen (lm), e representa a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1 m^2 feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio, por uma fonte luminosa puntiforme de intensidade invariável e igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro (COSTA, 2006).

Na prática, não se tem fonte puntiforme, porém quando seu diâmetro for menor que 20% da distância que a separa do ponto em que consideramos o efeito (ponto de medição), ela atua como fonte puntiforme. A relação 1:10 é usada nos trabalhos de maior precisão.

Como uma esfera tem 4π , ou seja, 12,56 ângulos sólidos unitários, se tivermos uma fonte de intensidade de 1 candela, esta emitirá uniformemente 12,56 lúmens. Abaixo (Fig.4) é mostrado o comportamento da variação do fluxo luminoso com a variação de potência.

Figura 4 - Comportamento da variação do fluxo luminoso com a variação de potência



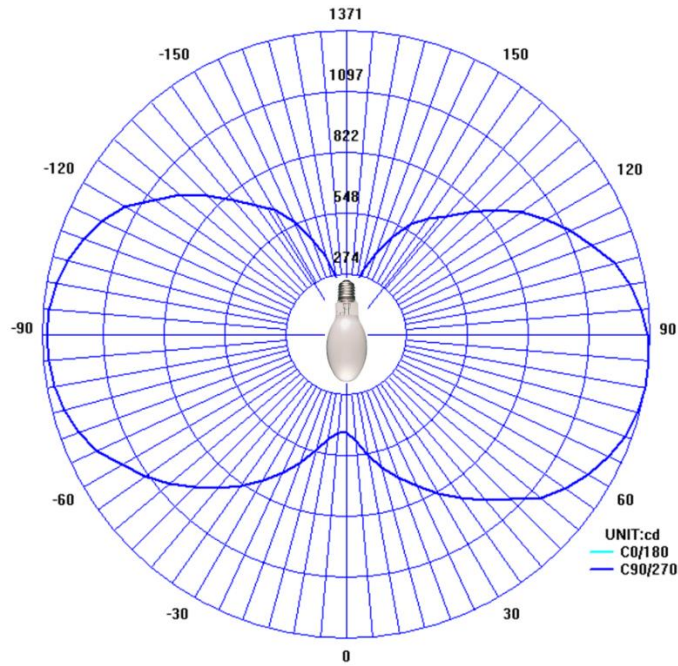
Fonte: Menowatt (2014)

2.5.2 Intensidade luminosa

Intensidade luminosa é uma expressão da quantidade de luz (fluxo luminoso) irradiada num determinado sentido. A intensidade luminosa de uma lâmpada ou luminária não é igual em todas as direções. Grafando a intensidade luminosa em torno da lâmpada ou luminária, a distribuição da intensidade luminosa pode ser definida. Isto oferece uma descrição precisa das características fotométricas da lâmpada ou luminária.

A distribuição de intensidade luminosa é geralmente representada na forma de um diagrama polar ou linear. A Fig. 5 ilustra a distribuição real da intensidade luminosa na forma de diagrama polar de uma lâmpada HPS de 150 Watts. Na figura pode ser constatada a gradação da intensidade luminosa para cada ângulo iluminado.

Figura 5 - Curva de Distribuição Luminosa de lâmpada HPS



Com a curva de distribuição luminosa (CDL) de cada lâmpada ou luminária o projetista terá maior facilidade de ajustar e posicionar as mesmas para garantir maior intensidade na posição desejada.

A intensidade do fluxo luminoso é obtida a partir das curvas de distribuição luminosa, também conhecidas como curvas isocandelas referente aos níveis de iluminância, que por sua vez são medidos utilizando um luxímetro, mostrado na Fig. 6.

Figura 6 - Luxímetro Digital ICEL LD-800 Aferido com Certificação INMETRO



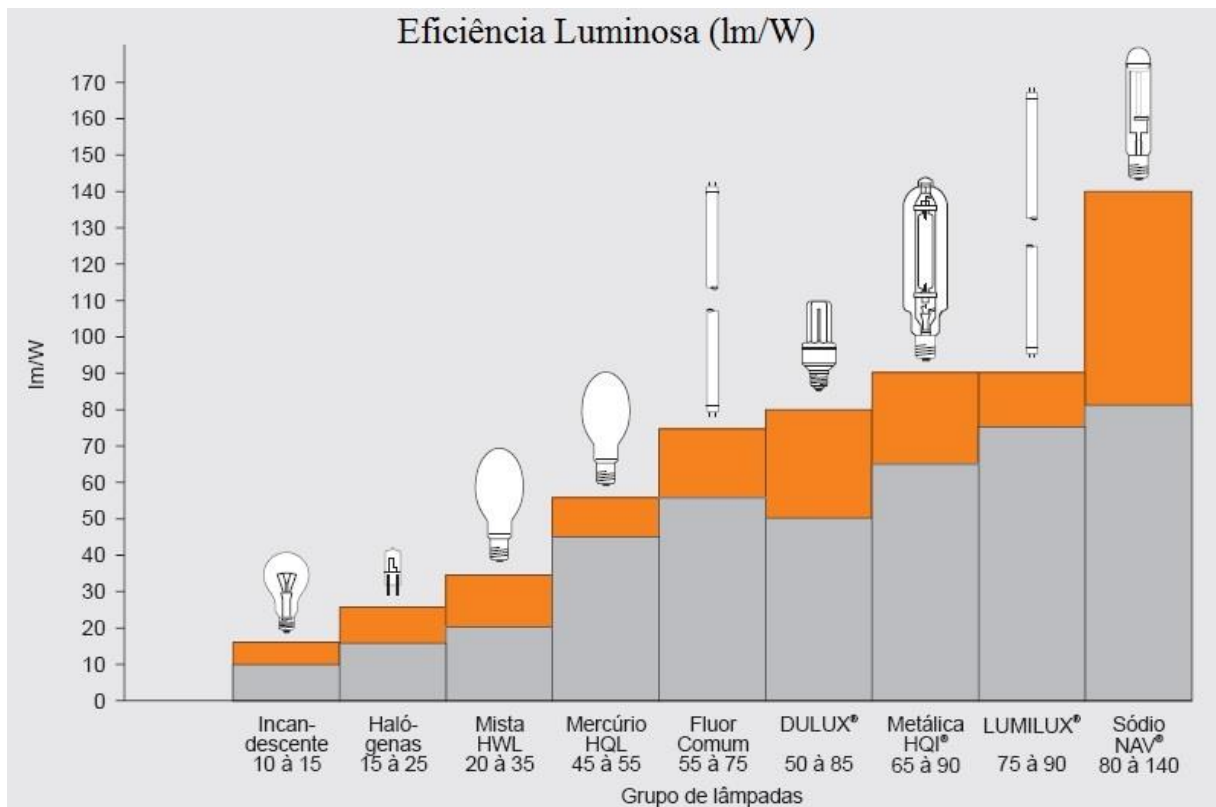
2.5.3 Eficiência Luminosa

A Eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência ativa (W) por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (1)$$

As lâmpadas se diferenciam entre si, não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. O gráfico representado pela Fig. 7 apresenta a eficiência energética de diferentes tecnologias de iluminação.

Figura 7 - Tabela de Eficiência Luminosa para diversos tipos de lâmpadas



Fonte: Silva (2004)

Tratando de eficiência global de uma luminária, esta depende de muitos outros fatores, como:

- Conformidade da Luminária;
- Características materiais (opaco, alumínio alta-refletância);
- Grau de Reflexão;

- Altura do foco;
- Diâmetro da lâmpada.

Na Fig. 7 não foi mencionada a Eficiência Luminosa do LED, pois ele se trata de uma tecnologia superior e não é o foco do trabalho.

2.5.4 Iluminância – Nível de Iluminamento

A Iluminância (E) corresponde ao fluxo luminoso de uma fonte de luz incidente em uma determinada superfície situada a uma certa distância desta fonte.

Se uma superfície plana (S) de 1 m^2 é iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz, cujo fluxo luminoso (ϕ) é de 1 lúmen, esta apresentará uma iluminância de 1 lux (lx).

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (2)$$

Para exemplificar isto, alguns níveis são esclarecidos abaixo.

- Dia de sol de verão a céu aberto: 100.000 lux;
- Dia com sol encoberto no verão: 20.000 lux;
- Uma vela a 1 metro de distância: 1 lux;
- Noite à luz de estrelas: 0,001 lux.

2.5.5 Medição de iluminamentos

As medições dos níveis de iluminamento são feitas com o auxílio de fotômetros calibrados em lux (luxímetros). Para fazer as medições em lâmpadas de descarga, deve-se deixá-las em funcionamento por 30 minutos antes de proceder às mesmas. Antes disso, é necessário certificar-se que as lâmpadas e equipamentos auxiliares (controladores de corrente) tenham funcionado algum tempo (aproximadamente 100 horas). Com isso, as condições de funcionamento serão aproximadamente ótimas, pois a temperatura das fontes (de energia e de luz) e as pressões internas dos gases estarão em seus valores nominais (SILVA, 2004).

O método mais utilizado para fazer a medição é o da divisão da superfície em pequenas áreas ($0,4 \times 0,4 \text{ m}$, aproximadamente), montando uma matriz quadrangular de medição e posteriormente, mensurando o iluminamento médio desta área analisada (MOREIRA, 1987).

A simplicidade do método não significa que ele seja impreciso, pois se conseguem resultados com erros inferiores a 10% (absolutamente toleráveis), sendo aconselhado tanto pelo Illuminating Engineering Society (IES) como pela ABNT (Método MB-207).

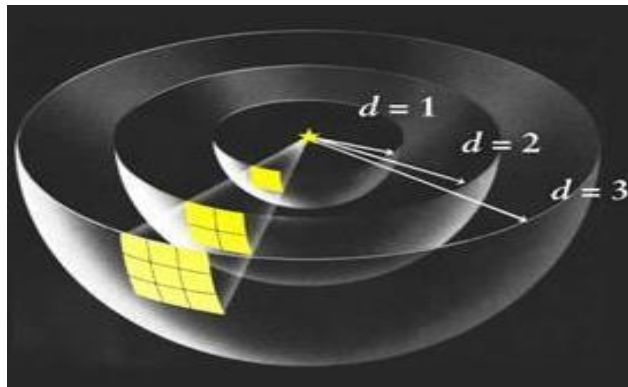
2.5.6 Luminância

É a intensidade luminosa refletida de uma superfície, pela sua superfície aparente. Na prática, é a sensação de claridade transmitida aos olhos. Esta é medida em candela por metro quadrado (cd/m^2).

2.5.7 Lei de Bouguer

A lei de Bouguer é também conhecida como lei do inverso do quadrado das distâncias. Esta explicita que o iluminamento médio a certa distância d (E_d) da fonte se reduz com o quadrado da distância à esta fonte luminosa. Para facilitar o entendimento, demonstra-se a distribuição do iluminamento na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração do funcionamento da distribuição da luz



Fonte: <http://cbseguesspapers.wordpress.com>

Então, tem-se:

$$E_d = \frac{E}{d^2} \quad (3)$$

Analisando a Fig. 8, pode-se visualizar a luz passando pelo primeiro quadrado a uma distância arbitrária da fonte ($d = 1$).

Ao se afastar, dobrando a distância da fonte para $d= 2$, a luz do quadrado original agora se espalha por uma área de 4 quadrados. Assim, a duas vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um quadrado simples será de $1/4$ da intensidade original. Triplicando a distância original ($d = 3$), a luz do quadrado original agora cobre uma área de 9 quadrados. Assim, em três vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um único quadrado será $1/9$ da intensidade original. Isto é o que se entende por "lei inversa do quadrado." À medida que você se afasta de uma fonte de luz, a intensidade da luz é proporcional a $1/d^2$, o inverso do quadrado da distância (COPETTI, 2013).

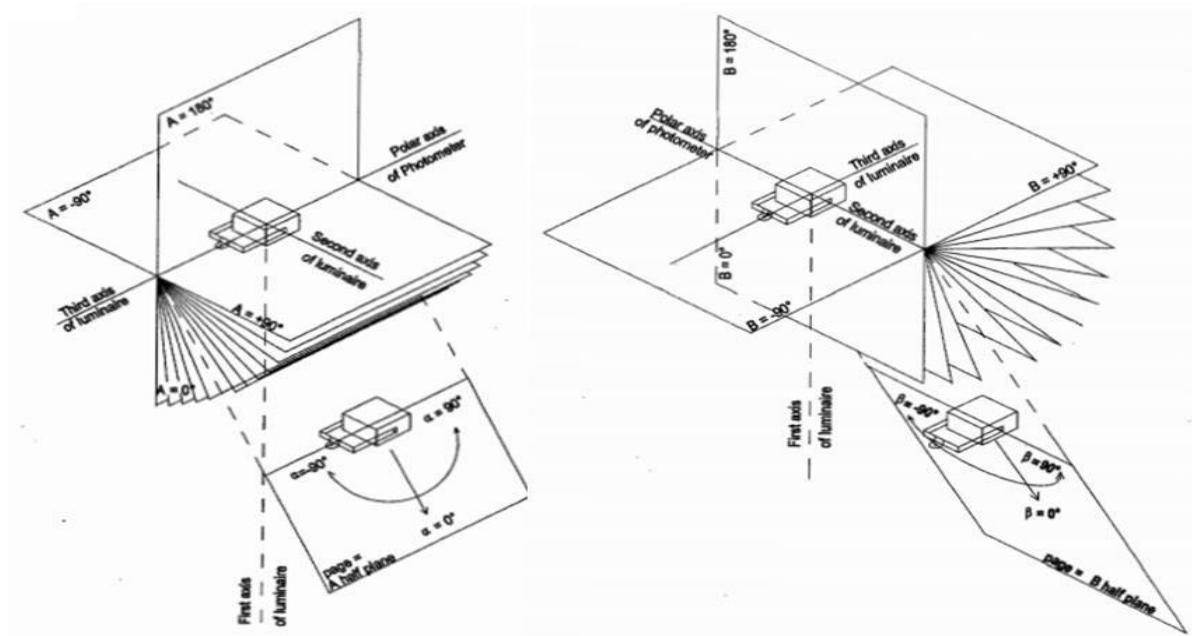
2.5.8 Fotometria

De acordo com a norma CIE 121-1996, que estabelece métodos e procedimentos fotométricos para medições de intensidade de distribuição de luz, medição do fluxo luminoso, luminância e iluminância utilizando goniofotômetro e com esfera de integração. Ambos podem realizar a medição de parâmetros colorimétricos, isto é, a distribuição espacial dos diferentes ângulos do composto espectral, tais como a distribuição de energia, as coordenadas de cromaticidade, comprimento de onda dominante, temperatura de cor, índice de restituição de cor e outros parâmetros. A CIE 121-1996 é um relatório técnico que apresenta os requisitos gerais para a fotometria de lâmpadas e luminárias de vários tipos e inclui as seguintes informações:

- Condições de teste padrão em que os testes devem ser realizados, com tolerâncias de práticas aceitáveis;
- Processos de seleção de lâmpadas e luminárias;
- Procedimentos para a medição das características fotométricas.

A Fig.9 extraída da norma CIE 121, detalha como é feito o processo de medição de uma luminária, a orientação dos planos e toda análise dos sistemas de coordenadas fotométricas das luminárias. Para a realização destas são feitas com base na rotação angular aplicada à luminária, utilizando um goniofotômetro, sendo este necessário para definir uma estrutura espacial em torno da luminária. Este instrumento consiste de um dispositivo mecânico para o apoio e o posicionamento da luminária ou lâmpada juntamente com os dispositivos para aquisição e processamento de dados. Os princípios da construção e seleção de goniofotômetros são cobertos na publicação CIE 70 (COPETTI, 2013).

Figura 9 - Orientação da luminária com goniofotômetro

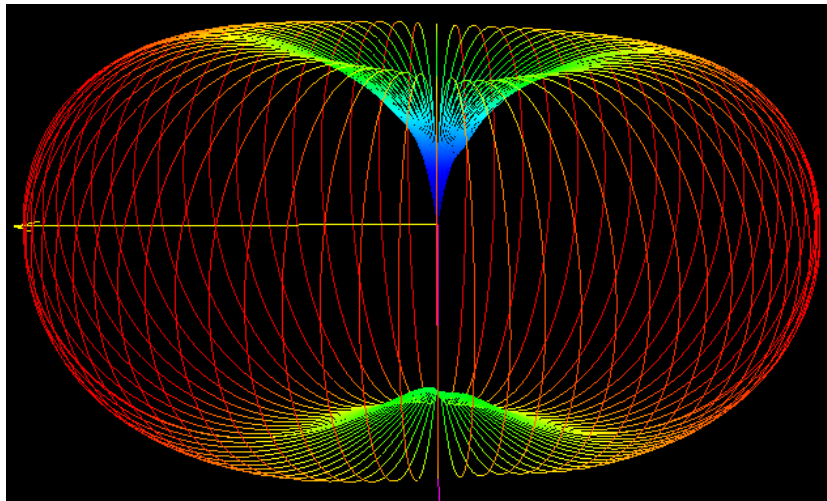


Fonte: CIE 121 (1996)

A Fig.10 facilita o entendimento de um ponto de vista geral, de como o sistema funciona através do sistema de coordenadas que consiste de um conjunto de planos, com um único eixo de intersecção. Fazendo a analogia com o sistema planetário, para cada translação de grau do eixo da lâmpada ou luminária, haverá a rotação de 360° da mesma. A varredura total dos 360° de translação e de rotação nos dará uma CDL em 3 dimensões.

A Fig. 10 exemplifica o processo real de rastreamento fotométrico de uma lâmpada HPS feita pelo goniofotômetro. Cada linha representa a leitura do luxímetro, formando uma CDL para cada grau de translação analisada, facilitando a visualização análoga à um “sólido” de revolução. A Fig. 5 é representada com apenas a varredura de um único grau de rotação. Ao se rotacionar esta lâmpada nos 360° e fazer a leitura, se conseguirá a CDL em 3 dimensões mostrada na Fig. 10.

Figura 10 - CDL de lâmpada HPS



O sistema de planos de medição em geral mensura a intensidade luminosa de uma luminária em vários planos. A intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz em todas as direções é conhecida como Curva de Distribuição Luminosa (CDL).

As fontes de luz utilizadas na prática têm uma forma cuja intensidade de radiação é afetada pela construção da própria fonte, apresentando vários valores para cada direção. Isto pode ser notado com mais facilidade em fontes com envoltórios translúcidos, que por sua vez, apresentarão uma CDL desuniforme.

2.5.9 Vida mediana

É o número de horas resultantes em que 50% das lâmpadas ensaiadas permanecem acesas. O teste é feito com 100 lâmpadas e quando a 50ª lâmpada queimar, contam-se as horas decorrentes a partir da energização do sistema.

2.5.10 Vida média

É a média aritmética do tempo de duração das lâmpadas ensaiadas. Esta medida também é feita com um sistema de 100 lâmpadas.

2.5.11 Vida útil ou custo benefício

É o número de horas decorridas quando se atinge 70% do fluxo luminoso inicial de cada lâmpada, somando ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período. Este dado é de suma importância para os cálculos de eficiência energética e viabilidade econômica.

2.6 Eficiência Energética

Eficiência Energética, segundo o MME (2011), refere-se a ações de diversas naturezas que resultam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Visa atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto na natureza.

O ato de planejar, modificar e aperfeiçoar que resulta em uma melhora na organização, conservação e gestão energética também é considerado como Eficiência Energética.

Ao realizar qualquer atividade voltada para a Eficiência Energética é necessário conhecer e diagnosticar a realidade energética, só assim pode-se estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhorias, expansões, redução de perdas e acompanhamento contínuo de seus resultados. Tal abordagem é válida para instalações novas, de maneira preventiva, ou instalações existentes, de maneira corretiva, em empresas de todos os setores, industriais ou comerciais, públicas ou privadas (PROCEL, 2007).

Adaptando para o caso que será estudado e resumindo, tem-se que a Eficiência Energética é o ato de dispor de um mesmo serviço energético, no caso, fluxo luminoso, reduzindo o consumo de energia, no caso, elétrica.

2.7 Normas

Para fins de consideração de qualidade de energia e comportamento dos reatores e ignitores, neste trabalho, são usadas como referências as normas ABNT NBR 13593:2011 e IEC 61347.

A NBR 13593 fixa as exigências mínimas especificamente do reator e ignitor para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão, relacionadas à perda, fator de potência e ignição para que o produto tenha correto funcionamento, garantindo a aprovação para utilização. Já a IEC 61347 especifica os requisitos de segurança para os mesmos.

A normatização específica para os aspectos construtivos e de operação das lâmpadas HPS é estabelecida pela ABNT NBR IEC 60662:1997.

Para fins de consideração da análise lumínica, metodologia de medição de iluminância e parâmetros luminotécnicos, serão utilizadas as normas ABNT NBR 5101:2012 e a ABNT NBR 5461:1991. A NBR 5101 especifica todos os requisitos para o dimensionamento correto da iluminação pública para garantir mínima visibilidade e segurança e conforto visual aos usuários.

Como o novo produto que será apresentado posteriormente trata-se de um reator dime-rizável e está sendo projetado para atender padrões universais, ele também está referenciado na norma italiana UNI 11248. Esta tem a mesma função da NBR 5101, diversifica-se apenas na questão de ser específica para estradas e rodovias e de variação de potência/fluxo luminoso, que por sua vez, aceita que a potência de trabalho da lâmpada seja variada caso houver variação de tráfego veicular, permitindo também a gestão remota dos pontos de iluminação.

Quando se fala em tensão nominal de alimentação em baixa tensão (inferior a 1 kV), o novo produto terá que atender o critério de queda de tensão citado pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 8), que dita como tensão adequada valores entre +5% e -10% da tensão nominal.

Atendendo ao critério internacional, a norma IEC 60662 também dita os limites de tensão de alimentação, que para valores nominais compreendidos entre 220 e 240V, a tensão inferior adequada é de -5% da nominal. Para tensão superior a nominal, existem duas categorias:

- Para valores nominais da lâmpada inferiores a 150W, temos que a tensão limite é +7V do valor nominal;
- Para valores nominais da lâmpada de 150W e superiores, temos que a tensão limite é +10V do valor nominal.

Os requisitos de graus de proteção (IP) para invólucros de equipamentos elétricos e particularidades específicas das luminárias para iluminação pública não serão trabalhados nesta investigação, mas são ditados pelas normas ABNT NBR IEC 60529:2011 e ABNT NBR 15129:2012, respectivamente.

Para fins comparativos e utilização dos valores, serão sintetizados os limites de perda máxima dos equipamentos para lâmpadas HPS, de acordo com a ABNT NBR 13593:2011 e o regulamento n. 347/2010 da Comissão Europeia (CE). Os limites para emissão de harmônicas de corrente para cada ordem harmônica são estipulados na norma IEC 61000-3-2.

2.7.1 Perda máxima dos reatores

Entende-se que perda máxima dos reatores também pode ser explicitada como a eficiência ou rendimento dos mesmos, só que em valores percentuais. A Tabela 3 sintetiza as Eficiências mínimas requeridas pela ABNT e pela CE. O aditivo da CE é que os valores mínimos de Eficiência para 2017 já foram aprovados pelo Parlamento Europeu.

Tabela 3 - Perda máxima dos reatores

Potência nominal da lâmpada (W)	Perda máxima (W) ABNT	Perda máxima (%) ABNT	Eficiência mínima ABNT	Eficiência mínima CE (2012)	Eficiência mínima CE (2017)
50	12	24,0%	76,0%	75%	85%
70	14	20,0%	80,0%	75%	87%
100	17	17,0%	83,0%	80%	87%
150	22	14,7%	85,3%	85%	90%
250	30	12,0%	88,0%	85%	90%
400	38	9,5%	90,5%	85%	90%
1000	90	9,0%	91,0%	90%	92%

Fonte: ABNT e CE (2014)

2.7.2 Norma IEC 61000-3-2: Limites para emissão de harmônicas de corrente

Esta norma refere-se às limitações das harmônicas de corrente injetadas na rede pública de alimentação e é aplicada para equipamentos elétricos e eletrônicos que tenham uma corrente de entrada de até 16A por fase, conectada em baixa tensão alternada, de 50 ou 60Hz e com tensão fase-neutro entre 220 e 240V.

Os equipamentos são divididos em 4 classes e os dispositivos de iluminação são compreendidos como a classe C. Os valores limites da classe C serão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Limites para emissão de harmônicas de corrente

Ordem do Harmônico n	Classe C (>25W) % da fundamental
2	2
3	30xFP
5	10
7	7
9	5
11	3
13	3
15<n<39	3

Fonte: IEC 61000-3-2

A Taxa de Distorção Harmônica – em inglês, Total Harmonic Distortion (THD) – é definida como a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente (I_n) e a fundamental (I_1):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{I_1} \quad (4)$$

2.8 Regulamentação do Fornecimento de Energia Elétrica

Este tópico irá classificar a iluminação pública desde sua definição, classificação, medição e faturamento para os responsáveis pelo ponto de iluminação, seja ela da Concessionária ou do Poder Público.

2.8.1 Definição da Iluminação Pública

Conforme a Resolução nº. 414 ANEEL (2010, p. 5), Art. 2º, Inciso XXXIX (texto atualizado), a iluminação pública é definida como sendo o “serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual”.

2.8.2 Classificação da Unidade Consumidora Referente à Iluminação Pública

Conforme a Resolução nº. 414 ANEEL (2010, p. 5), Art. 4º (texto atualizado), a distribuidora deve classificar a unidade consumidora de acordo com a atividade nela exercida e a finalidade da utilização da energia elétrica.

A aplicação das tarifas deve então observar as classes e subclasses estabelecidas no Art. 5º, que caracteriza a classe iluminação pública da seguinte forma:

§ 6º A classe iluminação pública, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, caracteriza-se pelo fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, logradouros de uso comum e livre acesso, inclusive a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem a interesses econômicos. (ANEEL, 2010, p. 13)

2.8.3 Ponto de Entrega de Energia para Iluminação Pública

O ponto de entrega é o ponto de conexão do sistema elétrico da distribuidora com as instalações elétricas da unidade consumidora, caracterizando-se como o limite de responsabilidade do fornecimento, e deverá situar-se no limite da via pública com a propriedade em que se localizar a unidade consumidora (ANEEL, 2010).

Com a transferência definitiva dos ativos de iluminação pública das distribuidoras para os poderes públicos de sua área de concessão, conforme a Resolução nº. 414 (ANEEL, 2010), Art. 14, Inciso IX, o ponto de entrega se situará então na conexão da rede elétrica da distribuidora com as instalações elétricas de iluminação pública.

2.8.4 Tarifas de Consumo de Energia Elétrica na Iluminação Pública

A Resolução nº. 456 (ANEEL, 2000) define as tarifas aplicáveis aos fornecimentos de energia elétrica para iluminação pública, de acordo com a localização do ponto de entrega, a saber:

Tarifa B4a: aplicável quando o Poder Público for o proprietário do sistema de iluminação pública, e realiza os serviços de operação e manutenção. Portanto, esta é a tarifa de menor valor, e neste caso, o ponto de entrega é na conexão da rede de distribuição; e

Tarifa B4b: aplicável quando o sistema de iluminação pública for de propriedade da concessionária. A concessionária é quem realiza os serviços de operação e manutenção, e por este motivo, é a tarifa de valor mais elevado. O ponto de entrega é no bulbo da lâmpada.

2.8.5 Medição e Faturamento do Consumo de Energia Elétrica da Iluminação Pública

A Resolução nº. 414 (ANEEL, 2010) determina que o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

*“A simplicidade na forma
e muita luz no conteúdo.”*

Mauri Luiz da Silva

Objetiva-se neste trabalho a avaliação do comportamento das lâmpadas HPS de 70, 150 e 250 W, equipadas com reatores eletrônicos e ferromagnéticos. As análises foram concentradas nos 4 principais equipamentos detalhados abaixo, afim de manter maior conformidade dos resultados.

Estes equipamentos direcionaram 3 grupos de testes, dividindo-se em análise das grandezas elétricas, análise das grandezas fotométricas e por último, análise de vida útil dos principais componentes do reator proposto para eficiência energética na iluminação.

3.1 Goniôfotômetro

O Goniôfotômetro (Fig. 11) é o aparelho que tem como objetivo medir a distribuição espacial da luz emitida, o que os pesquisadores e técnicos chama de “curvas fotométricas”, por lâmpadas, luminárias e/ou projetores.

O equipamento gera dados que dão subsídio para o desenvolvimento tanto de luminárias de uso comercial, público, residencial e industrial com maior eficiência energética e menor impacto ambiental, como também a avaliação dos reatores deste trabalho. Este é o equipamento de maior relevância das análises comparativas que dará o resultado final da economia de energia comparando reatores eletromagnéticos versus eletrônicos.

Figura 11 - Partes principais do Goniofotômetro.



Fonte: HOPOO (2014)

Para dar mais crédito a investigação, serão descritos alguns dados técnicos e precisões do conjunto de aparelhos que formam o goniofotômetro.

Especificações:

- Exatidão Foto-detector: Classe 1;
- Escala de teste de iluminância: 0.01Lx to 1x105Lx;
- Exatidão de ângulo: 0,01 graus;
- Âmbito rotativo: H:-180° ~ +270° ; V: -180° ~ +180°
- Exatidão elétrica: Classe 0,5;
- Exatidão da frequência: $\pm 0,05\%$;
- Exatidão da tensão: $\pm 0,4\%$;
- Exatidão da corrente: $\pm 0,4\%$;
- Exatidão da Potência: $\pm 0,4\%$;
- Fator de potência: $\pm 0,001\%$

Este Goniofotômetro tem a disponibilidade de dois modos de referência de medição. O primeiro modo refere-se à utilização do equipamento com a calibração do foto-detector, vinda de fábrica. O segundo modo, que será empregado neste trabalho, é a utilização como referência de uma Lâmpada Incandescente certificada (Fig. 12) pelo próprio fabricante do Goniofotômetro.

Figura 12 - Certificação HOPOO de lâmpada incandescente

杭州虹谱光电科技有限公司
HOPOO Optoelectronics Technology Co., Ltd.

产品检定合格证书
CALIBRATION CERTIFICATE

证书编号/CERTIFICATE NO. HOP001208056

产品名称/PRODUCT 通用标准光源

型号规格/MODEL AC220V/200W

出厂编号/SERIAL NO. 1208038

准确度/ACCURACY 一级/One Class

检定依据/MEASUREMENT BASED ON OI/HP1101-5
溯源至中国计量科学研究院
NIM Traceable
检定合格

溯源性/TRACEABILITY 检定合格

检定结果/MEASUREMENT RESULT QC Passed

温度/TEMPERATURE 25°C

检定员/OPERATOR [Red Seal]

审核员/INSPECTOR [Red Seal]

检定日期/Date Of Verification 2012年 08月 28日

有效期至/Valid Until 2013年 08月 28日

(盖章有效/Effective Seal)
[Red Seal]
[Red Seal]

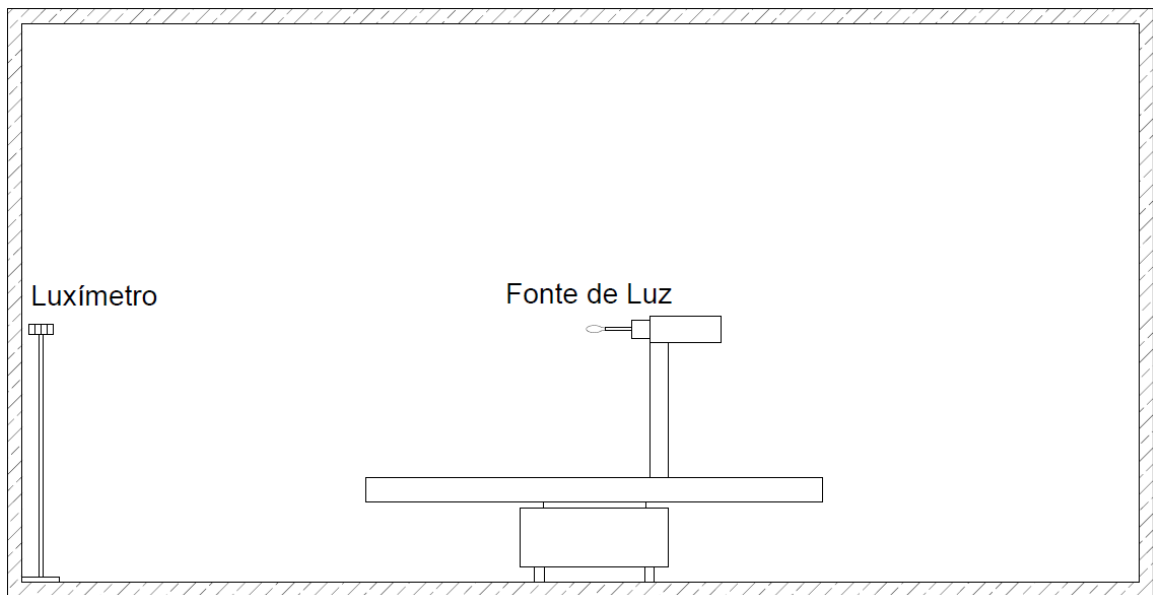
标定数据如下/Data of calibration as follow:

编号	参考电压 (V)	标定电流 (A)	光通量 (Lm)	标定色温 (K)
Serial NO.	Reference Voltage	Calibrated Current	Luminous Flux	Calibrated CCT
1208038	220.0	0.882	2488.6	2742
			标定时间	2012-08-28
			Date of calibration:	

Fonte: HOPOO (2014)

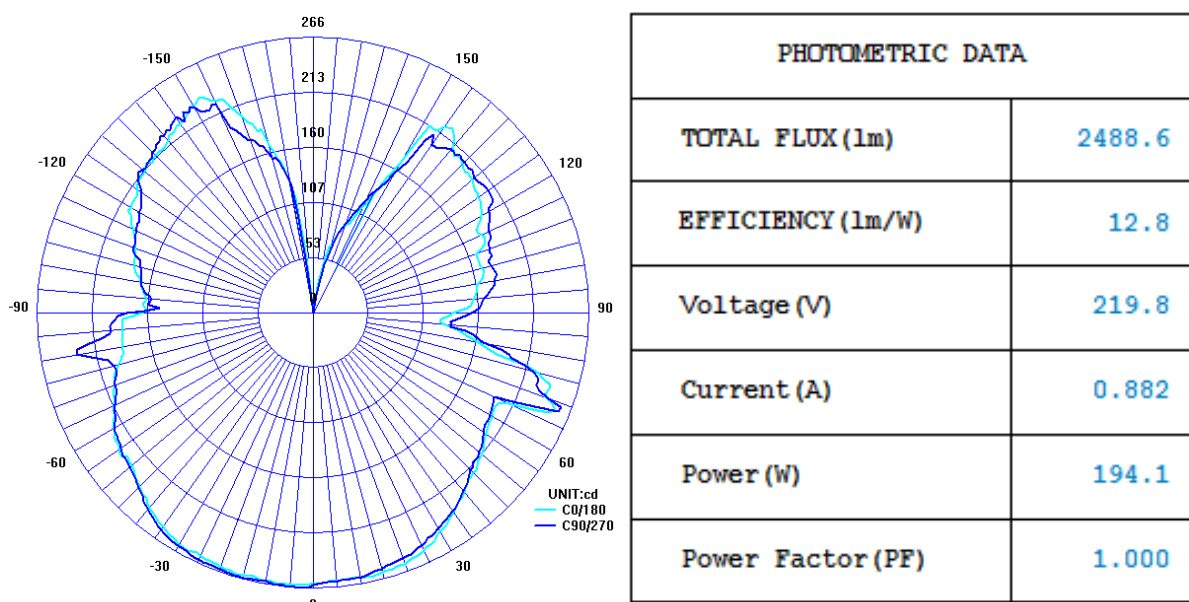
O equipamento foi aferido até obter as características de Corrente e Fluxo Luminoso descritas acima. Para que esta aferição e posteriores análises sejam feitas, foi necessária a construção de uma câmara escura de tamanho mais apropriado possível ao padrão e em harmonia com o local, no caso um laboratório, e seus usuários. Com dimensões de 6 x 3 x 3 m (Fig. 13), e distância da fonte de luz ao fotômetro ajustáveis pelo pesquisador dentro dos padrões de 1:10, a câmara cumpre seu papel.

Figura 13 - Esboco da câmara escura construída



Como resultado da aferição do equipamento com a lâmpada incandescente certificada, tem-se a sintetização dos dados transferida para o software, “HPGOTests Goniophotometers”, do equipamento. As informações que serão utilizadas neste trabalho, com mais frequência, são mostradas na imagem capturada do software (Fig.14), que são: Curva Fotométrica, Fluxo Luminoso Total e Eficiência Luminosa.

Figura 14 - Fotometria da lâmpada certificada e respectivos valores



Além da aferição da referência ao fotômetro, é necessário ajustar a velocidade do equipamento e quantos pontos serão medidos a cada simulação. O eixo de rotação do equipamento, responsável por girar a base do equipamento, foi ajustado para operar em 1 grau/s e o eixo de translação, responsável por girar a fonte de luz, foi ajustado para fazer a leitura nos quadrantes x e y, contemplando 0, 90, 180 e 360 graus. Nesta configuração, o equipamento sintetiza a leitura de 724 pontos e encerra a análise em um período de 20 minutos.

A operação na configuração citada acima tem uma distorção menor que 5% do resultado obtido na configuração em modo completo, garantindo valores totalmente aceitáveis para o nível do estudo. Uma simulação na configuração de modo completo demora cerca de 14 horas para ser encerrada e analisa mais de 130.000 pontos.

3.2 Analisador de Energia

O analisador de energia (Fig.15) é o aparelho principal que fará a integralização de 12 horas dos sistemas propostos. Juntamente com o osciloscópio (Fig. 16), serão analisadas as seguintes variáveis:

- Tensão, Corrente, Potências (W, VA, VAr);
- Taxa de distorção Harmônica de Corrente (iTHD);
- Formas de onda da tensão e corrente de entrada e saída;
- Frequência de entrada e saída;
- Perdas;
- Respostas à variação de tensão.

Figura 15 - YOKOGAWA WT3000 – PRECISION POWER ANALYZER



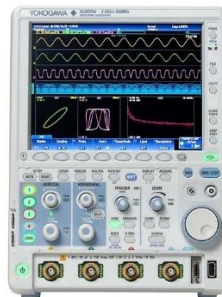
Fonte: YOKOGAWA (2014)

Especificações:

- Exatidão: 0,01%;
- Exatidão de potência: 0,02%;
- Intervalo de armazenagem: 50 ms;
- Análise computacional da FFT;
- IEC61000-3-2 e IEC61000-3-12: medição harmônica;
- IEC61000-3-3, IEC61000-3-11 e IEC61000-4-15: Flutuação de tensão.

3.3 Osciloscópio

Figura 16 - MIXED SIGNAL OSCILLOSCOPES DLM2054



Fonte: YOKOGAWA (2014)

ESPECIFICAÇÕES:

- Tensão: $\pm 2\%$;
- Corrente: $\pm 1\%$.

3.4 Termovisor

O termovisor (Fig. 17) é o equipamento imprescindível para a análise e cálculo de vida útil dos novos reatores eletrônicos. O cálculo de vida útil dos produtos analisados dará a validação da viabilidade econômica dos mesmos. Para garantirmos qualidade na leitura das temperaturas dos componentes dos reatores, é necessário que o operador do equipamento tenha aptidão para ajustar as variáveis e principalmente a composição externa de que cada componente analisado, para garantir que a emissividade seja a mais apropriada.

Figura 17 - Termovisor FLIR T420



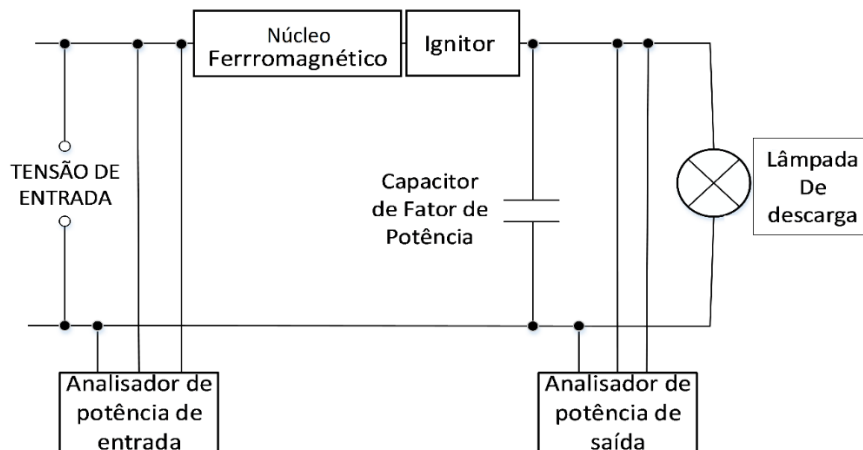
Especificações:

- Exatidão: $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- Leitura: -20°C to 650°C ;

3.5 Sistema de teste 1

Procedeu-se ao uso de reatores das marcas Intral, Jebi, Lumer e Philips, do tipo RVSE ou similar (Fig.18), presentes no mercado brasileiro.

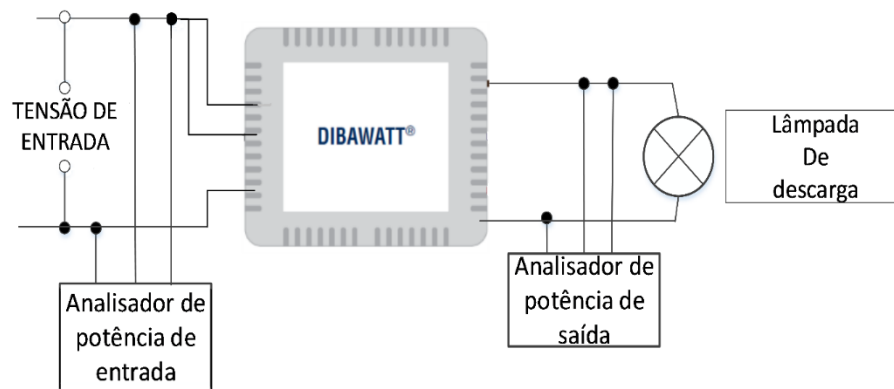
Figura 18 - Sistema para teste da Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão com reator ferromagnético



3.6 Sistema de teste 2

Equipamentos de iluminação dotados de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 70, 150 e 250 W e alimentados com reatores eletrônicos dimerizáveis marca Menowatt, modelo Dibawatt (Fig. 19).

Figura 19 - Sistema para teste da Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão com reator eletrônico.



Os dois sistemas serão submetidos a ciclos de trabalho de 12 horas, pela motivação de respeitar a Resolução nº 414 da ANEEL, que é de 11 horas e 52 minutos. Este valor corresponde, aproximadamente, a duração média do ciclo de um sistema de iluminação pública de trabalho diário (4.380 horas/365 dias). O teste e a medida foram desenvolvidos no interior do laboratório, em temperatura e umidade normal.

4 INVESTIGAÇÃO DIBAWATT NG E N

A primeira análise a ser feita será com os reatores eletromagnéticos Lumer, Jebi e Intral, juntamente com os Dibawatt's modelos NG 70 F1, NG 150 F1 e N 250 REM PLUS 4 de 70, 150 e 250 W respectivamente. Os modelos tratam-se do primeiro lote que o fabricante propôs a investigação e não tinham passado por nenhuma análise elétrica e fotometria.

4.1 DIBAWATT® NG e N

Os reatores Dibawatt NG e N (Fig. 20) referem-se ao primeiro produto disponibilizado pela fabricante Menowatt para análise de eficiência energética.

A seguir serão apresentados os princípios de funcionamento desses produtos.

Figura 20 - Imagem ilustrativa do Dibawatt



Fonte: Menowatt (2014)

4.1.1 Tecnologia Dibawatt

Dibawatt é um alimentador eletrônico dimerizável, por processador, específico para lâmpadas HPS e projetado para a aplicação em todos os sistemas de iluminação externa, tanto para construções existentes como novas.

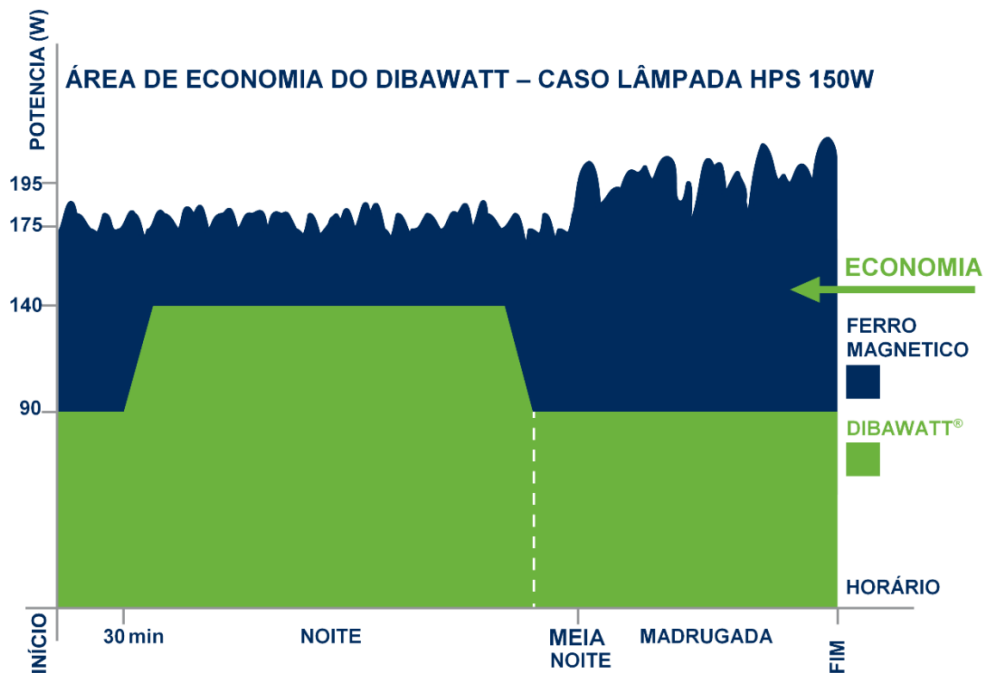
O Dibawatt é projetado para fornecer potência de forma gradual à lâmpada para assim permitir um ciclo de energia sem estresse (idêntico a um soft starter). Nesta situação, a corrente inicial absorvida pela lâmpada é consideravelmente inferior em comparação com o que acontece com os sistemas tradicionais ferromagnéticos.

O reator é programado para operar aproximadamente à 60% da sua potência de trabalho nos primeiros 30 minutos após a ignição. No final do ciclo de ignição, o reator continua a alimentar constantemente a lâmpada em potência nominal (noite), independente do valor da tensão fornecida, proporcionando sempre uma corrente mais baixa do que os valores verificáveis nos ferromagnéticos.

Isto é conseguido através da adição, no estágio de entrada, um PFC (Corretor de Fator de Potência) integrado no Dibawatt que permite um fator de potência estável entre tensão e corrente, tanto no ciclo de início da noite como no ciclo da madrugada. Quando a iluminação é desligada, o Dibawatt é automaticamente resetado, tornando-se pronto para reiniciar o ciclo.

A função dimerizável permite uma economia de energia de 35 a 40%, sem que haja qualquer redução da qualidade de energia injetada na rede ou na lâmpada. O comportamento ao longo do período energizado é demonstrado na Fig. 21.

Figura 21 - Demonstrativo do comportamento do Dibawatt comparando produtos ferromagnéticos

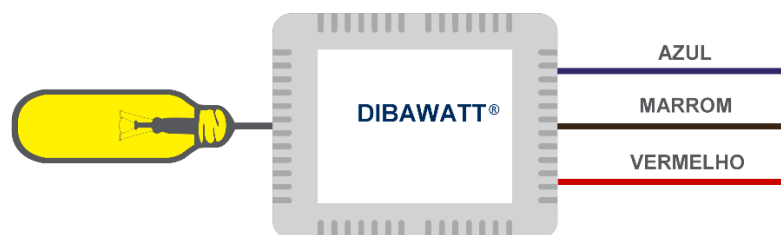


Fonte: Menowatt (2014)

4.1.2 Operação

Além da qualidade e economia de energia do Dibawatt, ele foi projetado para operar em três configurações automáticas. A função dimerizável, apresentada acima, que faz a modulação programada da potência de trabalho, a função de potência reduzida imediata, que operará a aproximadamente 60% da sua potência de trabalho desde a energização até o desligamento, sem sofrer alteração e, por último, a função potência plena que entrega potência constante à lâmpada em todo ciclo de trabalho. Estas funções são definidas pela combinação dos três condutores de alimentação do reator (Fig. 22).

Figura 22 - Condutores de conexão à rede



Fonte: Menowatt (2014)

Ao conectar o condutor marrom no condutor de fase da rede e, conseqüentemente, o condutor azul no neutro, será ativada a função auto-dimerizável. Para ativarmos a função de potência reduzida basta conectar o condutor marrom na fase da rede e os condutores azul e vermelho no condutor neutro. Para que o reator opere em potência plena por todo ciclo, basta ignorar o condutor vermelho e conectar os demais à rede de alimentação.

Além destes modos, a criação de um dispositivo, chamado DIBACP, conectado em paralelo com os condutores azul e marrom dará a disponibilidade da comutação instantânea, através do envio de um sinal elétrico por um condutor piloto conectado ao DIBACP, da função dimerizável para o modo de potência reduzida. Para reverter a função, basta que seja enviado um sinal contrário pelo condutor piloto para que o reator volte à função dimerizável.

O sinal de comutação também poderá ser enviado por interface via linha Carrier ou telecomando, com o incremento do dispositivo chamado DIBAPOLIS. Estes dois devem ser adquiridos separadamente.

4.1.3 Características estruturais e de projeto do Dibawatt

Diferindo totalmente dos reatores ferromagnéticos na questão da potência e qualidade de energia, o Dibawatt também tem funções de proteção do sistema eletrônico do mesmo. São eles:

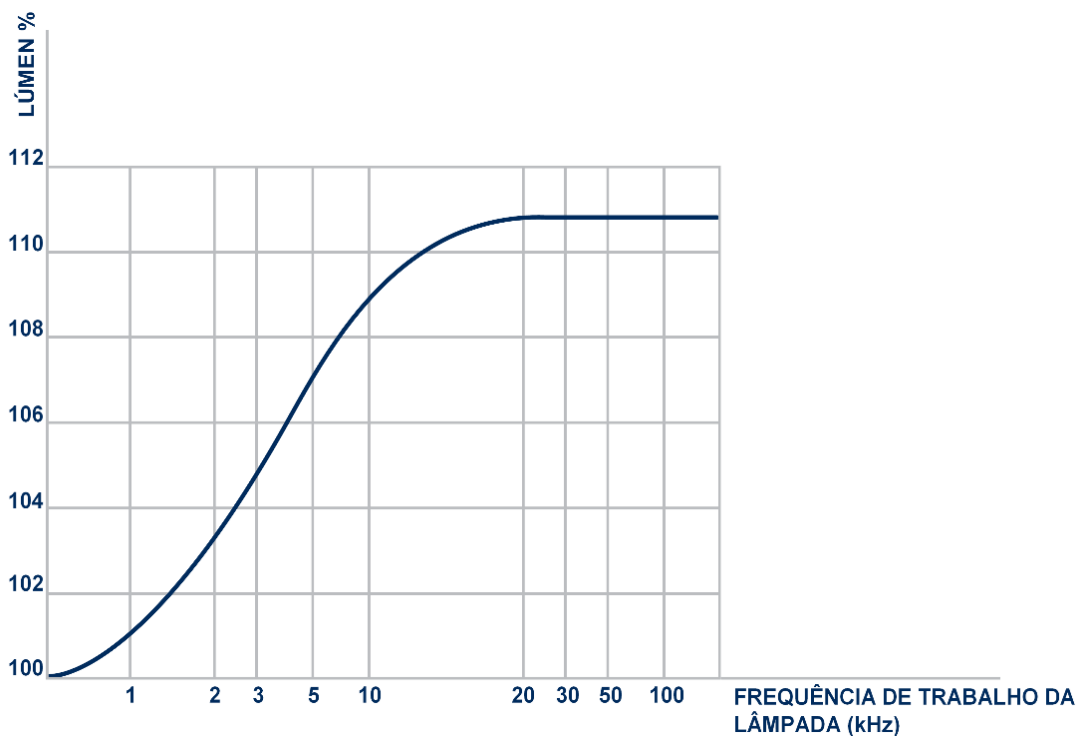
- *Proteção contra sobretensão:* O sistema de sobretensão, chamado OVP, dá grande proteção ao produto, monitorando constantemente a tensão de alimentação de entrada. Quando esta tensão for superior a 270V, o OVP desenergiza o reator. Para que o reator seja energizado novamente, a tensão de entrada tem que ser inferior a 250V.
- *Proteção contra surto:* Integrado ao reator, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas é de grande importância, ressaltando que em muitos locais, pontos de iluminação são mais susceptíveis às descargas.
- *Proteção contra sobretemperatura:* Este sistema monitora constantemente a temperatura interna do reator. Caso o produto esteja com sua temperatura interna igual ou superior a 90°C, devido à interferência externa ou de algum componente, automaticamente haverá a comutação para o modo de potência reduzida.

4.1.4 Abordagem específica do projeto

Estudos e experiências técnicas estabelecidas mostram que ao alimentarmos uma lâmpada fluorescente ou de descarga a uma frequência de trabalho acima da nominal, qual seja da frequência de rede (60Hz), consegue-se um aumento do fluxo luminoso emitido pela lâmpada.

O gráfico da Fig. 23 descreve o comportamento do fluxo luminoso com o aumento da frequência de trabalho da lâmpada.

Figura 23 - Gráfico da variação do Fluxo Luminoso versus frequência da lâmpada



Fonte: Menowatt (2014)

Em essência, é notável que, com frequências de trabalho superiores a 20 kHz é obtido um aumento do fluxo luminoso emitido pela lâmpada de cerca de 10%. Explorando este princípio, tem-se que a alta frequência também é utilizada nas Lâmpadas Fluorescentes Compactas (FLC).

O Dibawatt alimenta a lâmpada com uma frequência tal, a fim de se obter maior otimização do fluxo luminoso emitido. A utilização desta técnica implica também em uma ges-

tão mais fácil e precisa no processo de ignição da lâmpada, eliminando efeitos estroboscópicos e de cintilação. Os produtos NG e N possuem uma frequência de trabalho fixa em 30kHz.

4.2 Procedimentos

Ressaltando que esta primeira análise foi feita com o luxímetro ICEL, devido a necessidade de dispor de um resultado rápido e de grande importância ao fabricante, visando que o goniofotômetro, no período requerido, ainda estava em processo de instalação e aferição.

Foram medidos os níveis de Eficiência Energética, Eficácia Luminosa e qualidade de energia elétrica destes sistemas citados anteriormente, comparando-os produtos (Tabela 5). Os níveis de iluminação foram medidos na câmara escura do goniofotômetro, buscando-se comparar as grandezas lumínicas à duas distâncias fixas: 2,5 e 5,0 metros de distância da luminária, para uma altura de instalação de 1,5 metros.

Os valores são medidos em uma matriz quadrangular de três metros por três metros. Os dados são anotados para os dois tipos de reatores segundo as potências absorvidas. A avaliação é feita comparando a deterioração do nível de iluminação ao ser utilizado o reator eletrônico frente ao eletromagnético.

Tabela 5 - Especificações dos produtos

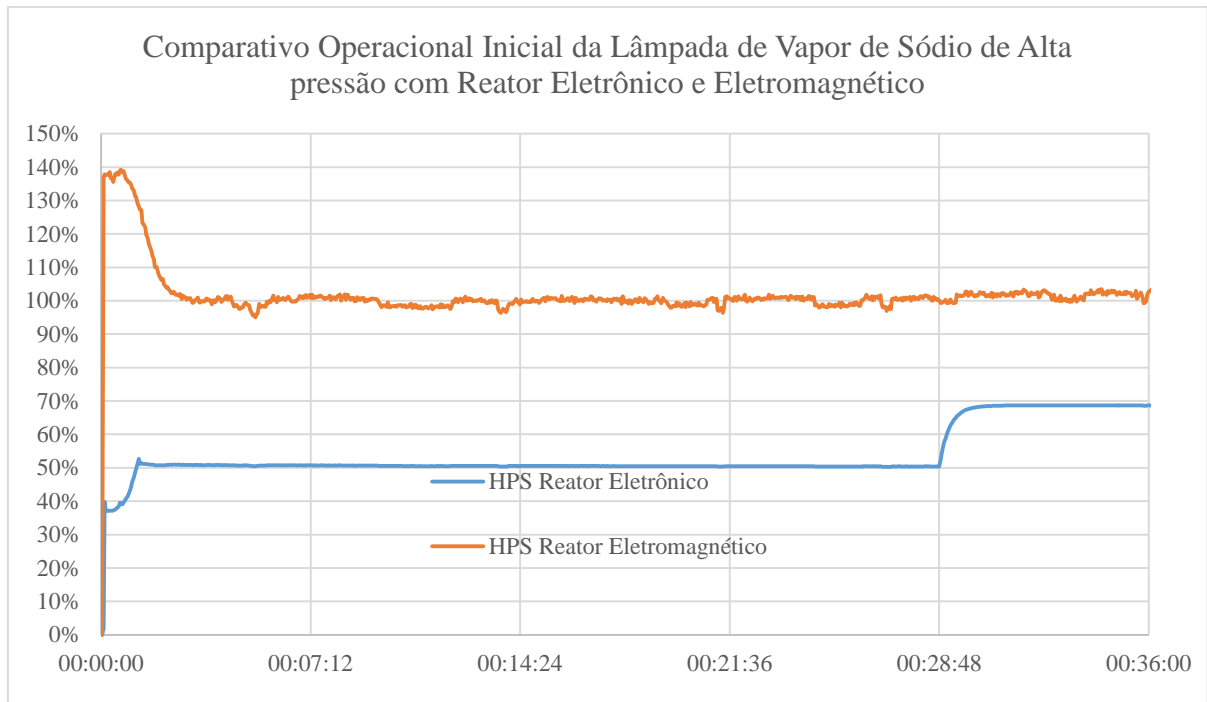
Produto/ Marca	Modelo	Potência (W)	Corrente Nominal (A)	Frequência (Hz)	Fator de Potência	Tensão (V)
Didawatt	NG 70 F1	70 ± 5%	0,31 ± 5%	50/60	≥0,98	250
	NG 150 F1	140 ± 5%	0,61 ± 5%	50/60	≥0,98	250
	N 250 REM	225 ± 5%	0,98 ± 5%	50/60	≥0,98	250
Intral	RVSE-70/62	70	0,4	60	≥0,92	220
	RVSE-150/62	150	0,82	60	≥0,92	220
	RVSE-250/62	250	1,35	60	≥0,92	220
Jebi	JS150AE	150	0,76	60	≥0,92	220
Lumer	RSM6	70	0,4	60	0,92	220

4.3 Resultados alcançados

Ressaltando que os equipamentos estão conectados diretamente na rede e que o produto Dibawatt está operando na configuração de modulação de potência (dimerizável), ou seja,

para atingir seu nível máximo de potência de trabalho o equipamento tem que passar pelo estágio inicial de operação, que é na faixa de 27 a 32 minutos para todos os modelos (Fig. 24).

Figura 24 - Comparativo percentual reator eletrônico versus eletromagnético



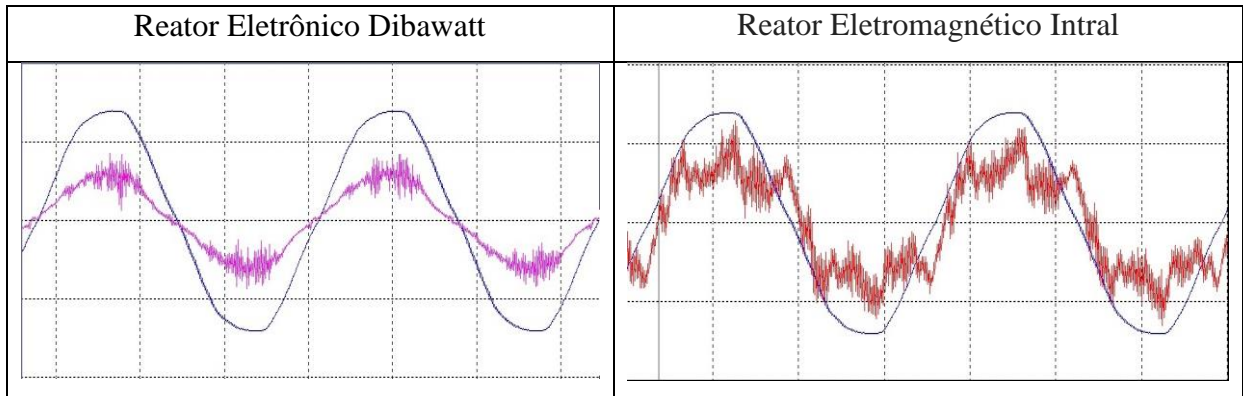
Os produtos eletromagnéticos atingem seu nível estável de potência de trabalho em um período de 3 a 6 minutos. Este período refere-se ao tempo de aquecimento da lâmpada, por conseguinte, como é visto no gráfico acima, é o período em que se tem uma corrente superior a 35% quando comparada com a corrente em regime permanente.

4.4 Formas de ondas características

Nesta seção serão apresentadas as características dinâmicas genéricas dos reatores eletromagnéticos e eletrônicos, contemplando as formas de onda de tensão, corrente e frequência de entrada e saída. Do perfil de corrente e tensão instantânea, consegue-se visualizar o efeito das distorções harmônicas e o defasamento angular.

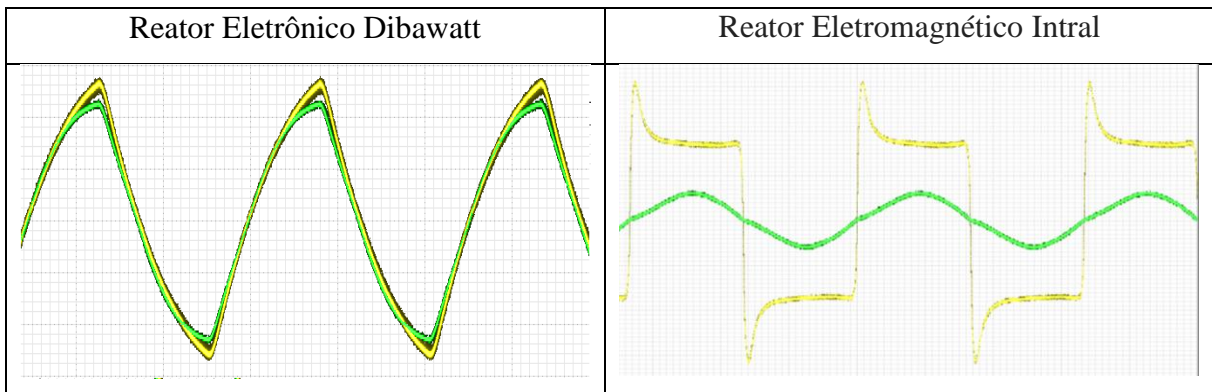
Os perfis serão apresentados comparando eletrônico versus eletromagnético (Figuras 25, 26 e 27), tomando leituras de tensão, corrente e frequência de entrada e saída, e também, leitura da operação em vazio. As grandezas das mesmas são apresentadas no tópico seguinte.

Figura 25 - Perfis de Corrente e Tensão de entrada



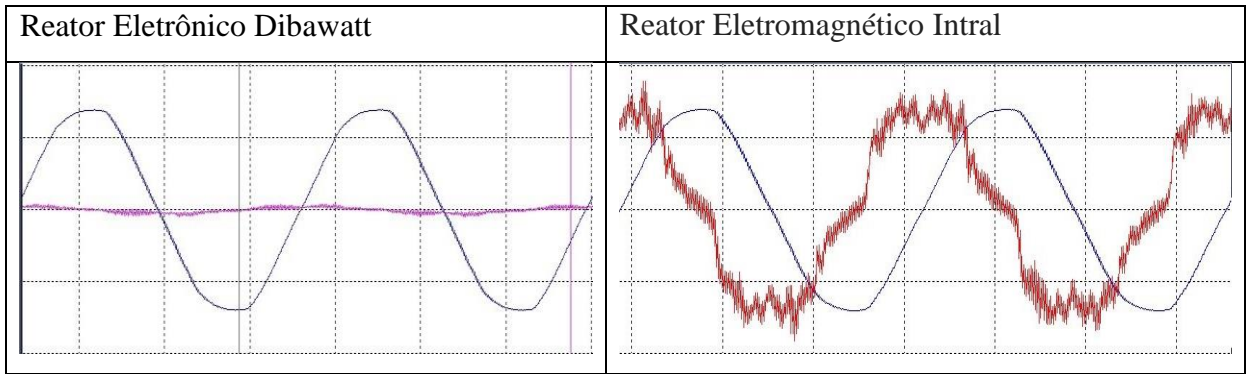
Na Fig. 25 tem-se em azul a tensão e em rosa e vermelho a corrente instantânea, ambas em 60Hz.

Figura 26 - Perfis de Corrente e Tensão de saída



Na Fig. 26 temos em amarelo a tensão e, em verde tem-se a corrente instantânea. No sistema eletromagnético a frequência de saída é a mesma de entrada (60 Hz). Para o sistema eletrônico a frequência é de 30 kHz.

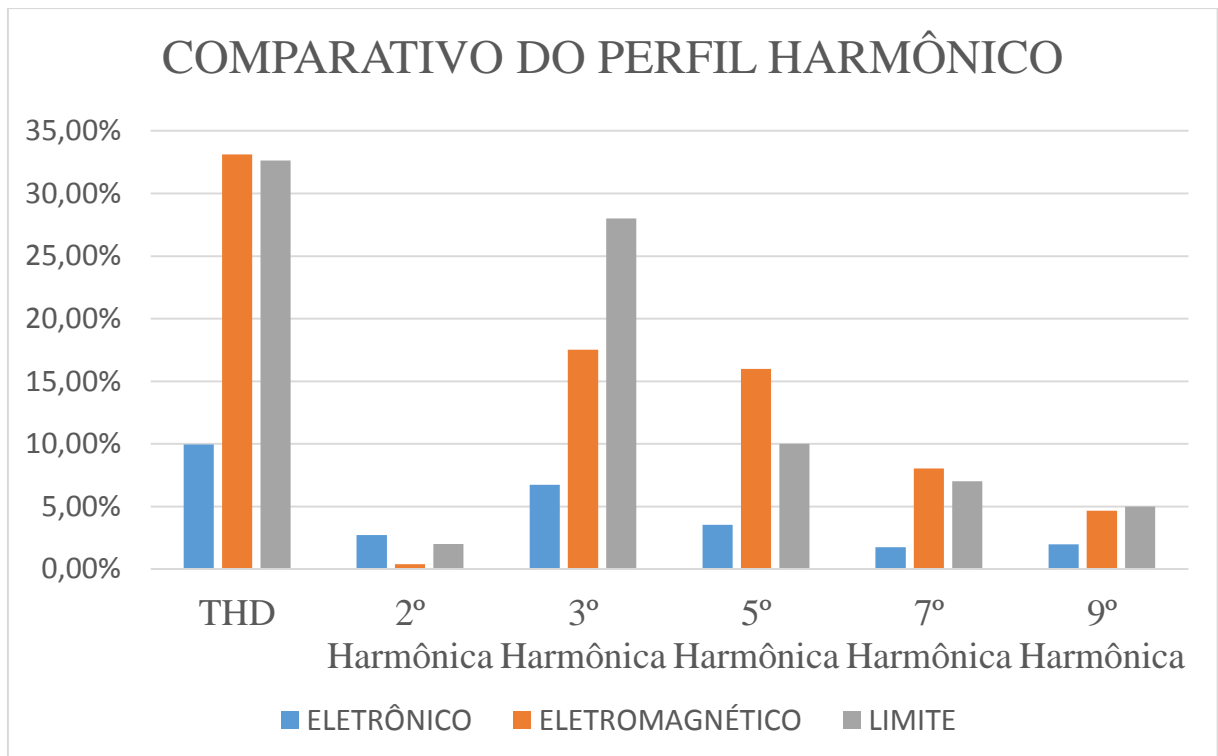
Figura 27 - Perfis de Corrente e Tensão de entrada operando em circuito aberto



4.5 Perfil das harmônicas

Neste tópico são apresentados os perfis de corrente das ordens harmônicas dos reatores eletrônicos e eletromagnéticos, comparando os mesmos com o que a IEC 61000-3-2 e a IEEE dita. Por se tratarem de equipamentos que possuem uma equivalência no comportamento das ordens harmônicas, estes dados são sintetizados genericamente para reatores eletrônicos e eletromagnéticos (Fig. 28).

Figura 28 - Comparativo do perfil harmônico de acordo com as normas e os valores medidos



O comparativo acima se refere aos limites de corrente estipulados na Tabela 4 confrontando com os valores percentuais médios analisados de distorção harmônica dos produtos eletrônicos e eletromagnéticos.

Com base nos limites da IEC 61000-3-2, tem-se que os eletromagnéticos apresentam potenciais elevados nas 5ª e 7ª harmônica, que por sua vez são responsáveis pela ocorrência de excitações ressonantes. O principal componente que possibilita a ocorrência de ressonância é o capacitor.

Para exemplificar o cálculo do valor limite de THD será utilizado o fator de potência mínimo estipulado pelo PRODIST, que é de 0,92. Este cálculo deve ser feito para cada produto extraíndo seu valor de de fator de potência e substituindo na fórmula abaixo.

$$THD_{máximo} = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{I_1} \quad (5)$$

$$THD_{máximo} = \frac{\sqrt{2^2 + (30 \cdot 0,92)^2 + 10^2 + 7^2 + 5^2 + 3^2 + 3^2 + 12 \cdot (3^2)}}{100} = 32,646\%$$

4.6 Testes para HPS 70W

4.6.1 Testes Energéticos e de Qualidade de Energia

Os valores de Potências Médias referem-se a média de potência do período analisado, ou seja, da integralização das 12 horas (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparativo Energético 70W

	Reator Dibawatt	Reator Intral
Tensão (V)	226	226
Corrente (A)	0,326	0,488
Potência Ativa (W)	72,16	92,32
Potência Aparente (VA)	73,716	110,24
Potência Reativa (Var)	15,018	60,6
Fator de Potência (p.u.)	0,979	0,835
THD de Corrente (%)	8,2 %	32,2%
Potência Ativa Média (W)	71,62	94,37
Potência Reativa Média (VAr)	15,61	62,10
Potência Aparente Média (VA)	73,31	112,98
Economia de Energia		35,1%

4.6.2 Teste de Iluminamento Médio

Para o teste fotométrico dessa primeira fase foi utilizado um único projetor padrão para lâmpada HPS (Fig. 3), onde para cada potência de lâmpada foi comparada a performance de cada reator, eletromagnético versus eletrônico na busca de fornecer o mesmo serviço energético.

No item medição de iluminamento foi descrito como são realizadas as leituras com luxímetro. A seguir (Tabela 17) são apresentados os resultados da matriz quadrangular 300 x 300 cm e distância de 50 cm entre pontos.

Tabela 7 - Matriz de medição de iluminamento 70W

Reator Dibawatt								Reator Intral							
Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]								Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]							
Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	54	71	71	79	72	66	51	300	58	73	80	82	78	68	51
250	75	87	93	93	93	82	66	250	75	94	106	103	99	86	67
200	93	107	115	114	116	99	79	200	92	115	133	130	128	108	83
150	95	117	129	128	123	109	80	150	100	132	150	146	140	124	92
100	94	113	127	122	120	101	80	100	102	126	146	142	139	116	89
50	76	94	101	100	96	86	70	50	89	114	123	122	117	105	80
0	54	67	72	71	66	61	52	0	76	87	92	99	90	80	70
Média 9 m ² : 89,4 Lux								Média 9 m ² : 102,0 Lux							
Distância da Luminária até o plano de medição: 5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	22	22	21	21	21	20	18	300	25	27	26	26	25	24	23
250	24	24	23	23	22	21	20	250	28	29	29	29	28	27	25
200	26	26	25	24	24	24	23	200	30	30	31	30	30	29	27
150	26	26	26	24	24	24	22	150	31	32	32	31	31	30	27
100	25	25	26	24	24	23	22	100	30	31	32	30	30	30	26
50	23	25	24	23	23	22	21	50	28	30	30	29	28	28	24
0	20	23	23	22	20	20	19	0	25	28	28	27	26	25	24
Média 9 m ² : 22,9 Lux								Média 9 m ² : 28,2 Lux							

O teste do nível de iluminamento para a luminária de vapor de sódio de alta pressão de 70W com reator eletrônico tem o seu fluxo luminoso reduzido em 12,3 % quando medido a 2,5 metros de distância e de 18,7% quando a 5,0 metros.

4.7 Testes para HPS 150W

4.7.1 Testes Energéticos e de Qualidade de Energia

Os valores de Potências Médias referem-se a média de potência do período analisado para o produto de 150 W (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparativo energético 150W

	Reator Dibawatt	Reator Intral
Tensão (V)	226	226
Corrente (A)	0,623	0,9095
Potência Ativa (W)	139,16	188,57
Potência Aparente (VA)	140,99	205,73
Potência Reativa (Var)	22,65	82,27
Fator de Potência (p.u.)	0,987	0,9165
THD de Corrente (%)	9,5 %	29,8%
Potência Ativa Média (W)	139	188,64
Potência Reativa Média (VAr)	22,9	91,24
Potência Aparente Média (VA)	141	163,29
Economia de Energia		32,8%

4.7.2 Teste de Iluminamento Médio

Tabela 9 - Matriz de medição de iluminamento 150W

Reator Dibawatt								Reator Intral							
Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]								Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]							
Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	105	132	143	159	154	141	129	300	158	194	221	243	234	213	174
250	127	154	179	185	185	157	149	250	185	235	280	295	292	247	212
200	153	187	216	222	227	196	164	200	209	282	342	357	357	362	248
150	162	205	238	249	245	219	170	150	239	315	280	403	400	355	285
100	165	203	236	235	245	214	180	100	230	301	361	379	383	335	261
50	146	176	201	202	205	179	162	50	196	256	302	314	317	283	234
0	112	140	155	157	154	143	120	0	156	193	232	243	236	221	206
Média 9 m ² : 177,2 Lux								Média 9 m ² : 270,5 Lux							
Distância da Luminária até o plano de medição: 5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	49	52	52	53	51	47	46	300	80	86	90	93	92	89	85
250	52	55	56	56	54	52	49	250	88	94	98	101	100	96	95
200	54	57	58	58	56	54	51	200	93	97	102	103	104	102	96
150	55	59	60	59	58	56	52	150	93	100	104	106	108	105	95
100	55	58	59	58	58	55	53	100	90	97	101	102	105	103	100
50	53	57	58	57	56	54	50	50	84	92	97	97	98	99	94
0	51	53	55	55	53	49	47	0	80	85	88	93	90	90	89
Média 9 m ² : 54,2 Lux								Média 9 m ² : 95,3 Lux							

O teste do nível de iluminamento para a luminária de vapor de sódio de alta pressão de 150W (Tabela 9) com reator eletrônico tem o seu fluxo luminoso reduzido em 34,5% quando medido a 2,5 metros de distância e de 43,1% quando a 5,0 metros.

4.8 Testes para HPS 250W

4.8.1 Testes Energéticos e de Qualidade de Energia

Os valores de Potências Médias referem-se a média de potência do período analisado para o produto de 150 W (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparativo energético 250W

	Reator Dibawatt	Reator Intral
Tensão (V)	226	226
Corrente (A)	1,033	1,583
Potência Ativa (W)	229,75	318,45
Potência Aparente (VA)	235,153	360,36
Potência Reativa (Var)	50,07	168,66
Fator de Potência (p.u.)	0,977	0,883
THD de Corrente (%)	11,3 %	32,9%
Potência Ativa Média (W)	230,04	303,30
Potência Reativa Média (VAr)	50,14	163,29
Potência Aparente Média (VA)	235,44	344,50
Economia de Energia		31,7%

4.8.2 Teste de Iluminamento Médio

O teste do nível de iluminamento para a luminária de vapor de sódio de alta pressão de 250W (Tabela 11) com reator eletrônico tem o seu fluxo luminoso reduzido em 24,8 % quando medido a 2,5 metros de distância e de 28,4% quando a 5,0 metros.

Tabela 11 - Matriz de medição de iluminamento 250W

Reator Dibawatt								Reator Intral							
Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]								Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]							
Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	262	349	350	397	392	348	280	300	384	483	491	547	481	425	347
250	305	379	422	439	436	360	306	250	457	541	583	609	560	485	402
200	350	427	492	512	506	440	367	200	503	601	675	681	675	586	452
150	368	462	530	552	548	482	370	150	523	639	723	735	708	620	470
100	364	449	514	521	536	460	380	100	515	621	693	705	693	587	490
50	336	397	442	439	450	400	325	50	445	524	586	597	579	522	423
0	268	314	348	374	346	315	287	0	330	407	453	460	430	412	331
Média 9 m ² : 402,0 Lux								Média 9 m ² : 534,5 Lux							
Distância da Luminária até o plano de medição: 5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	127	133	134	133	132	124	118	300	177	191	187	187	187	181	176
250	134	141	142	141	137	133	130	250	191	195	196	196	191	192	181
200	140	145	148	146	144	134	134	200	195	201	201	201	201	191	187
150	136	149	151	149	146	142	132	150	192	203	203	203	203	194	184
100	139	143	150	147	146	142	132	100	194	201	205	202	201	191	194
50	131	136	144	140	140	132	133	50	186	197	201	197	196	185	183
0	121	127	136	136	133	130	124	0	176	184	187	186	184	176	167
Média 9 m ² : 137,1 Lux								Média 9 m ² : 191,4 Lux							

Como os produtos Dibawatt são projetados para operar em 50 e 60Hz, o teste com a matriz foi realizado para a luminária com reator eletrônico 70 Watts, a distância de 2,5m.

Tabela 12 - Matriz de medição de iluminamento 70W em 50 Hz

Reator Dibawatt - 60 Hz								Reator Dibawatt - 50 Hz							
Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]								Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]							
Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m								Distância da Luminária até o plano de medição: 2,5m							
[cm]	0	50	100	150	200	250	300	[cm]	0	50	100	150	200	250	300
300	54	71	71	79	72	66	51	300	56	71	72	78	71	66	57
250	75	87	93	93	93	82	66	250	76	88	93	96	93	82	66
200	93	107	115	114	116	99	79	200	93	107	115	117	115	99	79
150	95	117	129	128	123	109	80	150	95	116	129	129	123	109	81
100	94	113	127	122	120	101	80	100	96	114	126	123	120	102	80
50	76	94	101	100	96	86	70	50	76	94	101	100	96	86	75
0	54	67	72	71	66	61	52	0	54	67	73	71	66	61	55
Média 9 m ² : 89,4 Lux								Média 9 m ² : 90,0 Lux							

O comportamento do sistema em 50 e 60 Hz teve resultados idênticos, fortalecendo mais uma qualidade do produto (Tabela 12). A diferença menor que 1% se torna desprezível quando levarmos em conta a precisão do luxímetro de mão e a presença humana na medição.

4.9 Resumo da primeira investigação

Os principais resultados sobre a eficiência energética (Tabela 13) medida encontram-se sintetizados na tabela abaixo, tomando como referência o reator eletromagnético. Os comparativos denotaram em reduções de Potências Ativas, Aparentes e Reativas superiores a 22,7%.

Tabela 13 - Eficiência Energética

	Didawatt Versus Intral			Didawatt versus Lumer			Didawatt versus Jebi		
	P(W)	S(VA)	Q(VAr)	P(W)	S(VA)	Q(VAr)	P(W)	S(VA)	Q(VAr)
70W	24,1%	35,1%	74,9%	30,1%	47,4%	83,5%			
150W	26,3%	32,8%	74,9%				22,7%	28,2%	71,0%
250W	24,2%	31,7%	69,3%						

Para todos os casos o Dibawatt se mostrou mais econômico, seguindo o reator Jebi. Entretanto, a boa performance energética se reflete na deterioração do nível de iluminação alcançado.

Em todos os casos a operação do reator eletrônico Dibawatt se mostrou normal, sem apresentar grandes distorções de corrente, mesmo operando em vazio. Esta análise é importante, tendo em vista que ao ser energizado o reator com a lâmpada queimada este ficará em modo de partida ao longo do período em que permanecer energizado.

A Tabela 14 mostra o percentual de consumo dos produtos quando estão operando em vazio. O valor obtido é comparado com o valor de potência aparente (VA) do mesmo produto quando está em operação ideal.

Tabela 14 - Consumo em vazio (%)

	Dibawatt	Intral
70 W	16,7%	197,3%
150 W	9,0%	171,0%
250 W	6,2%	167,8%

Da Tabela 10 temos que o circuito eletrônico reduz para menos de 16,7% a potência demandada caso a lâmpada estiver queimada. Já para o eletromagnético tem um aumento de mais de 67,8% no consumo para todos os casos. Esta colocação é de grande importância para cálculos de investimentos e prioridades em manutenções.

Por último foram sintetizados os valores das Taxas de Distorções Harmônicas de Corrente (iTHD) analisados em operação ideal e em vazio (Tabela 15).

Tabela 15 - Medição de iTHD dos reatores

Modelo	Didawatt			Intral			Jebi	Lumer
	NG 70 F1	NG 150 F1	N 250 REM	RVSE- 70/62	RVSE- 150/62	RVSE- 250/62	JS150AE	RSM6- 70
iTHD ideal	8,20%	9,50%	11,30%	32,20%	29,80%	32,90%	35,50%	26,40%
iTHD vazio	21,90%	22,10%	22,50%	15,30%	15,90%	16,30%	14,30%	15,10%

É notável a semelhança dos reatores ferromagnéticos estudados, ressaltando que os produtos licitados pela PMA são compatíveis com a qualidade disponibilizada no mercado. Os produtos JEBI 150W e Intral 250W estão com níveis de THD acima do limite, enquanto os demais estão com níveis aceitáveis mesmo operando em vazio. Valores acima do limite implicam na desclassificação do produto para o comércio.

Com estes resultados encerra-se a primeira avaliação técnica dos produtos eletrônicos versus eletromagnéticos. As respostas elétricas dos produtos Dibawatt retornaram pontos positivos ao fabricante, mas não eficiente energeticamente com os pontos negativos referentes ao iluminamento.

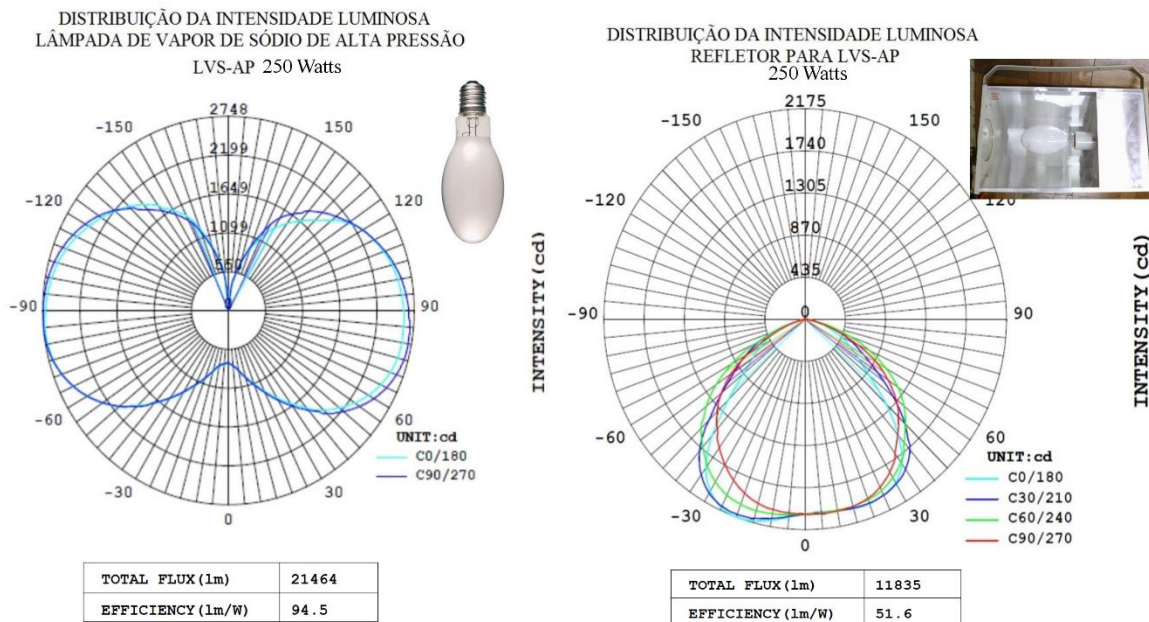
A avaliação negativa dos Dibawatt NG e N e a apresentação dos dados resultou na consolidação da parceria Menowatt – Singel – UNIPAMPA, fazendo a fabricante propor o projeto de um novo modelo para o reator, este sendo denominado Dibawatt NX. Esta nova série do produto foi avaliada juntamente com os Engenheiros da Menowatt no mesmo laboratório da UNIPAMPA, Campus Alegrete.

4.10 Eficiências e Fluxos Luminosos dos reatores

Ao período que o Dibawatt NX era projetado, encerravam-se as instalações e aferições do Goniofotômetro. Com o Goniofotômetro aferido, pode-se dar mais consistência aos resultados lumínicos apresentados com as matrizes quadrangulares.

Para demonstrar o que será analisado neste tópico, serão mostradas as distribuições das intensidades luminosas da lâmpada e do projetor que estão sendo utilizados (Fig. 29).

Figura 29 - Principais resultados da análise com goniofotômetro



A figura acima contém os principais dados que serão utilizados nas posteriores análises que envolvem fotometria.

Na Tabela 16 são apresentadas as Eficiências e Fluxos Luminosos de todos modelos de reatores apresentados e o rendimento real do controlador de luz (Projetor).

Tabela 16 - Eficiências e Fluxos Luminosos dos produtos analisados

Modelo	Reator + Lâmpada		Projetor	
	Eficiência Luminosa (lm/W)	Fluxo Luminoso	Eficiência Luminosa (lm/W)	Fluxo Luminoso
Didawatt	NG 70 F1	55,3	3.990,4	2289,6
	NG 150 F1	73,4	10.119,0	5580,1
	N 250 REM	94,5	21.464,0	11835
Intral	RVSE-70/62	59,8	5.070,9	2927,5
	RVSE-150/62	78,8	13.325,0	7186,7
	RVSE-250/62	105,2	31.907,2	17546
JEBI	JS150AE	76,3	12.238,5	6570,7
LUMER	RSM6-70	58,0	4.968,2	2871,6

Denota-se então que a avaliação matricial realizada com o luxímetro manual mostrada anteriormente, está condizente com a avaliação do Goniofotômetro.

Anteriormente, o Dibawatt NG 70 F1 foi o que teve menor deterioração do Nível de Iluminamento (12,3% a 2,5m) e agora, se compararmos a Eficiência Luminosa do mesmo com o Intral, temos uma redução de eficiência de 7,5%.

4.11 Rendimento do projetor

Para descobrir o rendimento real do projetor utilizado e se o mesmo é realmente universal para lâmpadas até 400 Watts, basta encontrar-se a percentagem do Fluxo Luminoso da Luminária em relação ao Fluxo Luminoso da Lâmpada (Tabela 17).

Tabela 17 - Rendimento do Projetor

	Modelo	Rendimento do Projetor
Didawatt	NG 70 F1	57,4%
	NG 150 F1	55,1%
	N 250 REM	55,1%
Intral	RVSE-70/62	57,7%
	RVSE-150/62	53,9%
	RVSE-250/62	55,0%
JEBI	JS150AE	53,7%
LUMER	RSM6 – 70	57,8%

Constata-se então que o refletor cumpre seu papel na questão da universalidade, porém tem um rendimento médio de 55,7% para os casos analisados. Nota-se que os maiores rendimentos são conseguidos com as lâmpadas de 70 Watts, devido a sua menor dimensão.

5 INVESTIGAÇÃO DIBAWATT NX

A segunda investigação é feita com os produtos Dibawatt NX de 70, 150 e 250 W, confrontando os resultados com os produtos PHILIPS de mesma potência.

5.1 DIBAWATT® NX

Dibawatt NX é um modelo de reatores projetados pela Menowatt após os resultados negativos da primeira investigação.

Trata-se de uma nova arquitetura de projeto e programação, mas que mantém as mesmas funcionalidades e segurança do primeiro alimentador apresentado, com a finalidade de conseguir valores consideráveis de eficiência energética.

Anteriormente o Dibawatt tinha a possibilidade de três configurações fixas (modo dimerizável, modo potência reduzida e potência plena) e uma configuração dependente de sinal enviado por um cabo piloto ou por interface sem fio.

O Dibawatt NX possui em seu sistema microprocessado a disponibilidade de armazenamento do comportamento do seu ciclo operacional. Para a modalidade dimerizável, o alimentador possui 18 programas armazenados em seu sistema para que se adeque às necessidades de cada cliente ou local instalado. O projeto, ainda em estágio de ajustes, também permitirá o operador do produto, por meio de um controle remoto, chamado DIBASET, selecionar um destes 18 programas armazenados e também reprogramar um ciclo operativo que seja específico para sua utilização.

Do DIBASET, poderá ser feito o ajuste do ciclo de forma pontual (a cada aparelho) ou em zonas operativas conectadas a um mesmo quadro de energia.

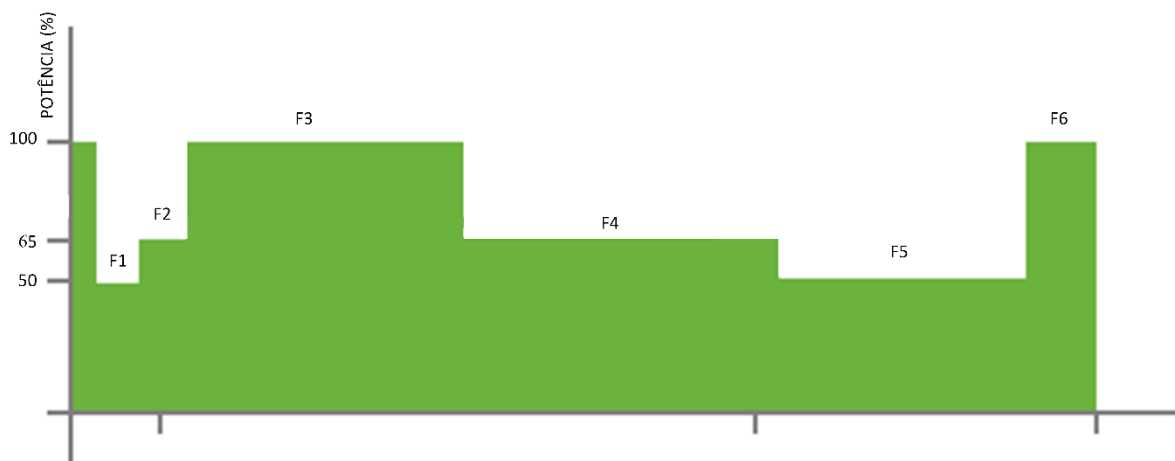
Das características evolutivas do ciclo de operação, todas as configurações e programas terão, após a ignição, o incremento instantâneo da potência entregue à lâmpada até o seu valor nominal, com a justificativa de uma energização padrão, completo acionamento do tudo

de descarga e polarização dos gases. Uma má energização da lâmpada ocasionaria uma queima prematura da mesma.

Para a reprogramação do ciclo operacional e modulação facilitada, o ciclo foi dividido em módulos (F), que podem ser ajustados nas seguintes formas pré-definidas (Fig. 30):

- Potência Plena: Corresponde ao valor nominal da lâmpada;
- Potência Reduzida padrão: Corresponde à cerca de 65% do valor nominal;
- Potência Reduzida mínima: Corresponde à cerca de 50% do valor nominal;
- Potência Turbo: Corresponde à cerca de 110% do valor nominal.

Figura 30 - Divisão dos módulos ajustáveis por pré-definição



A característica evolutiva da frequência entregue a lâmpada é que ela terá o comportamento de um circuito PWM, ou seja, variando a frequência para variar a amplitude da potência.

A disponibilidade de ajuste da potência do Dibawatt, inicialmente realizada apenas pelo engenheiro da fabricante, por comunicação física entre um computador e o microprocessador do produto, dá o valor real de eficiência energética do Dibawatt e garantia do mesmo serviço luminoso proporcionado pelo reator eletromagnético.

Foram realizados os ensaios elétricos, luminotécnicos e térmicos para os sistemas 1 e 2, com o adicional da avaliação do comportamento dos reatores com variação de tensão, levantando faixas de operação, ignição da lâmpada e variações de luminosidade.

5.2 Análise das características elétricas

5.2.1 Análise das variáveis em Sistema Estabilizado

Compreende a análise em potência plena em condições normais de operação, para um período de análise de 12 horas. Para estas análises também foram apresentados os valores médios de potência do período integralizado (Tabela 18).

Tabela 18 - Análise das variáveis em sistema estabilizado

	Eletromagnético			Eletrônico		
	70 W	150 W	250 W	70 W	150 W	250 W
Tensão (V)	220	220	220	220	220	220
Corrente (A)	0,444	0,799	1,424	0,345	0,680	1,249
Potência Ativa (W)	88,608	166,990	296,770	75,148	151,440	275,370
Potência Aparente (VA)	98,636	177,500	316,270	76,274	152,300	279,650
Potência Reativa (Var)	43,333	60,198	109,350	13,057	16,141	- 48,723
Fator de Potência	0,898	0,941	0,938	0,985	0,994	0,985
THD Corrente (%)	36,660	32,200	32,392	8,537	7,627	5,933

5.2.2 Valores Comparativos em Percentagem da redução da energia

O comparativo da Tabela 19 ressalva a melhoria na qualidade de energia do reator eletrônico comparada ao reator eletromagnético.

Tabela 19 - Comparativo percentual de redução de energia

	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (VA)	Potência Reativa (VAr)	Fator de Potência	THD Corrente (%)
70 Watts	220	-23%	-15%	-23%	-70%	10%	-77%
150 Watts	220	-15%	-9%	-14%	-73%	6%	-76%
250 Watts	220	-12%	-7%	-12%	-145%	5%	-82%

5.2.3 Ensaio em vazio

O ensaio em vazio ou em circuito aberto no lado da carga serve para simular e verificar o comportamento dos reatores quando acontecer a queima da lâmpada (Tabela 20).

Tabela 20 - Ensaio em vazio

	Eletromagnético			Eletrônico		
	70 W	150 W	250 W	70 W	150 W	250 W

Tensão (V)	220	220	220	220	220	220
Corrente (A)	0,855	1,61	2,77	0,028	0,03	0,14
Potência Ativa (W)	4,148	3,73	4,087	0,82	0,941	0,82
Potência Aparente (VA)	191,17	355,92	617,76	6,355	6,79	32,54
Potência Reativa (VAr)	-191,12	-355,9	-617,75	- 6,3	6,7	- 32,53
Fator de Potência	0,022	0,010	0,007	0,129	0,139	0,025
THD Corrente (%)	16,66	14,336	17,44	20,37	20,65	13,72

5.2.4 Valores comparativos em porcentagem comparados com valores nominais de trabalho

Os valores da Tabela 21 se referem às diferenças de potência em relação aos valores de potência nominal analisados nas tabelas 18 e 20.

Tabela 21 - Comparativo energético da variação de consumo com a queima da lâmpada

	Eletromagnético			Eletrônico		
	70 W	150 W	250 W	70 W	150 W	250 W
Corrente (A)	92,40%	101,6%	94,90%	8,00%	4,30%	11,30%
Potência Ativa (W)	4,70%	2,20%	1,40%	1,10%	0,60%	0,30%
Potência Aparente (VA)	93,80%	100,5%	95,30%	8,30%	4,50%	11,60%
Potência Reativa (VAr)	-441,1%	-591,2%	-564,9%	-48,30%	41,70%	66,80%
Fator de Potência	2,40%	1,10%	0,70%	13,10%	13,90%	2,60%
THD Corrente (%)	45,4%	44,5%	53,8%	138,6%	170,7%	131,4%

Observou-se que o consumo do reator eletromagnético aumentou em torno de 100% da potência nominal, porém seu THD caiu para metade. No reator eletrônico, observou-se que ele consome menos que 12% do valor nominal, porém a injeção de THD na rede é aumentada para mais de 130%, mas ainda dentro do limite estipulado pela IEC.

5.2.5 Avaliação das Perdas Elétricas

Com o analisador de energia, consegue-se realizar o comparativo de perdas elétricas (Tabela 22) com as normas ABNT NBR 13593:2011 e a CE n. 347/2010. Ressalta-se que estes dados foram mensurados a frio, após o período de acendimento total da lâmpada (cerca de 7 minutos), nas condições que as normas ditam.

Tabela 22 - Perdas elétricas

	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (VA)	Potência Reativa (Var)	Fator de Potência	Frequência (Hz)	THD Corrente (%)	PERDAS (%)
Eletrônico	70 Watts entrada	220,97	0,44728	86,942	98,836	47,006	0,87966	60	40,933
	70 Watts saída	88,709	1,0128	70,077	89,844	56,224	0,77998	60	11,689
	150 Watts entrada	220,92	0,80645	159,015	178,16	80,345	0,89254	60	42,565
	150 Watts saída	90,465	1,84186	135,966	166,624	96,316	0,81601	60	8,326
	250 Watts entrada	221,808	1,4822	295,70	328,75	143,6700	0,8995	60	42,002
	250 Watts saída	109,435	2,94022	268,95	321,76	176,62	0,83588	60	9,978
Eletrônico	70 Watts entrada	220	0,34447	75,148	76,274	13,057	0,98524	60	8,537
	70 Watts saída	84,179	0,84092	70,567	70,788	5,588	0,99688	44,64k	-
	150 Watts entrada	220	0,69364	152,198	152,931	14,949	0,99521	60	7,627
	150 Watts saída	81,602	1,75625	142,87	143,314	-11,265	0,99691	35,7k	-
	250 Watts entrada	220	1,22837	270,52	273,21	38,23	0,99016	60	5,933
	250 Watts saída	98,23	2,63825	258,58	259,15	17,25	0,99778	32,05k	-

A análise das perdas elétricas mostrou que as perdas dos produtos PHILIPS estão con-
dizentes com o que as normas ditam, porém, de acordo com a CE 2017 estes produtos terão
que ser reprojatados utilizando materiais com menores perdas, ou terão que reduzir seu preço
de aquisição. Analisando as perdas do Dibawatt, tem-se que suas perdas já estão dentro do
limite estipulado para 2017.

Da questão harmônica, na análise da potência de saída observa-se o total de harmôni-
cos são injetados à lâmpada, no reator eletromagnético. Já para o reator eletrônico, a injeção
de harmônicos à lâmpada é considerada como nula. Ressalta-se que os valores obtidos na ava-
liação de perdas não são iguais devido à necessidade da análise. Anteriormente, nas análises
energéticas mostradas nas tabelas 14 e 16, os valores eram a média do período integralizado e,
para a análise de perdas os produtos são ensaiados à frio.

Da potência entregue à lâmpada, tem-se que os produtos eletromagnéticos e eletrôni-
cos de 150 Watts estão com Potência Ativa abaixo do nominal, o que acarreta em uma redu-
ção de sua eficiência e fluxo luminoso, que como pode ser visto na Fig. 4 ao se reduzir em
10% da potência da lâmpada, tem-se uma redução de 20% do seu fluxo luminoso.

5.2.6 Testes de Resposta à Variação de Tensão

A resposta à variação de tensão (Tabela 23) dá as características de operação dos rea-
tores e, principalmente, os valores das tensões limites que proporcionam segurança à utiliza-
ção dos mesmos.

As definições básicas são apresentadas a seguir:

1. Tensão de disparo

É a tensão mínima necessária para ignição da lâmpada.

2. Tensão para atingir a potência plena

É a tensão mínima para que a potência chegue ao seu nível de trabalho, ou nível estável.

3. Sobre-tensão de desenergização

É a tensão elevada que faz com que desligue a lâmpada e/ou sistema. Essencial para a
proteção do conjunto.

4. Tensão de reenergização

Após a desenergização por sobre-tensão, o sistema volta a energizar a lâmpada à uma tensão aceitável.

5. Sub-tensão que segura a potência plena

É a mínima tensão que conseguirá manter a potência estabilizada do sistema.

6. Sub-tensão de desenergização

É a tensão mínima para que a lâmpada ainda continue energizada.

Tabela 23 - Resposta à variação de tensão

	Eletromagnético			Eletrônico		
	70 Watts	150 Watts	250 Watts	70 Watts	150 Watts	250 Watts
Tensão de disparo (V)	171	179	184	27	27	27
Tensão para atingir potência plena (V)	220	220	220	170	170	170
Sobretensão de desenergização (V)	-	-	-	280	280	280
Tensão de Reenergização (V)	-	-	-	232	226	226
Subtensão que segura a potência plena (V)	-	-	-	193	193	193
Subtensão de desenergização (V)	49	49	35	15	16	17

Como o reator eletromagnético não possui nenhum sistema de controle de corrente, os itens são desclassificados na análise. No caso de subtensão que assegura a potência plena, tem-se que o Dibawatt está atendendo as normas de limites de tensão adequada, garantindo potência constante entregue à lâmpada.

5.2.7 Comportamento das variáveis no ciclo de trabalho em potência plena

Para demonstrar o comportamento das variáveis ao longo das 12 horas de energização, serão apresentados os comportamentos de tensão, corrente e potências dos produtos de 250 Watts.

Desses comportamentos, o que é de maior relevância é o processo de ignição e a condução das potências com a oscilação da tensão da rede elétrica de distribuição ao longo da noite (Figuras 31 a 34).

Figura 31 - Comportamento da tensão e corrente do Dibawatt ao longo da integralização

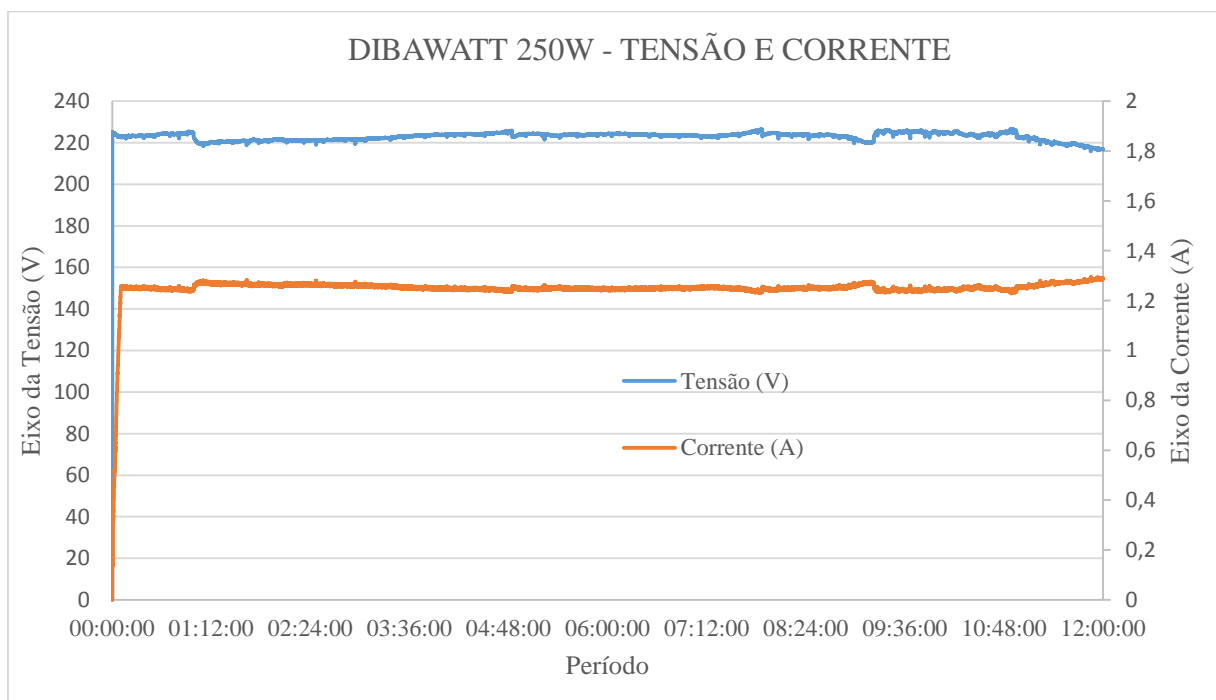


Figura 32 - Comportamento da tensão e corrente do Philips ao longo da integralização

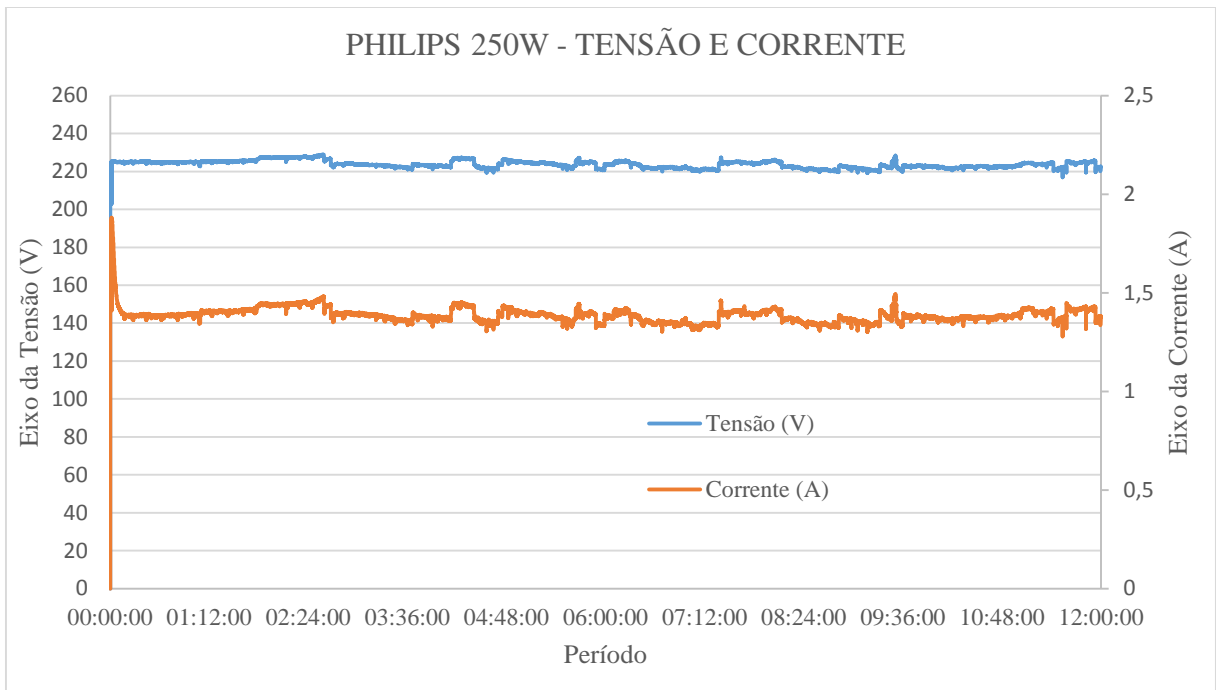


Figura 33 - Comportamento das potências do Dibawatt ao longo do período de integralização

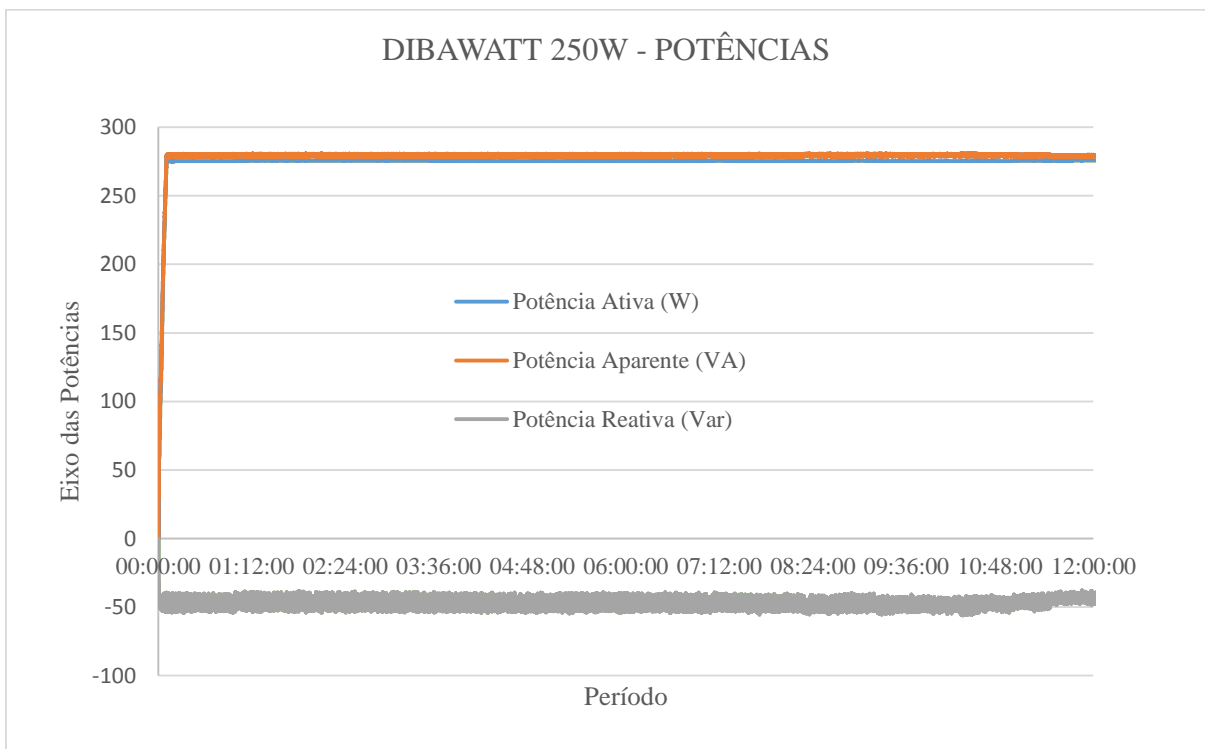
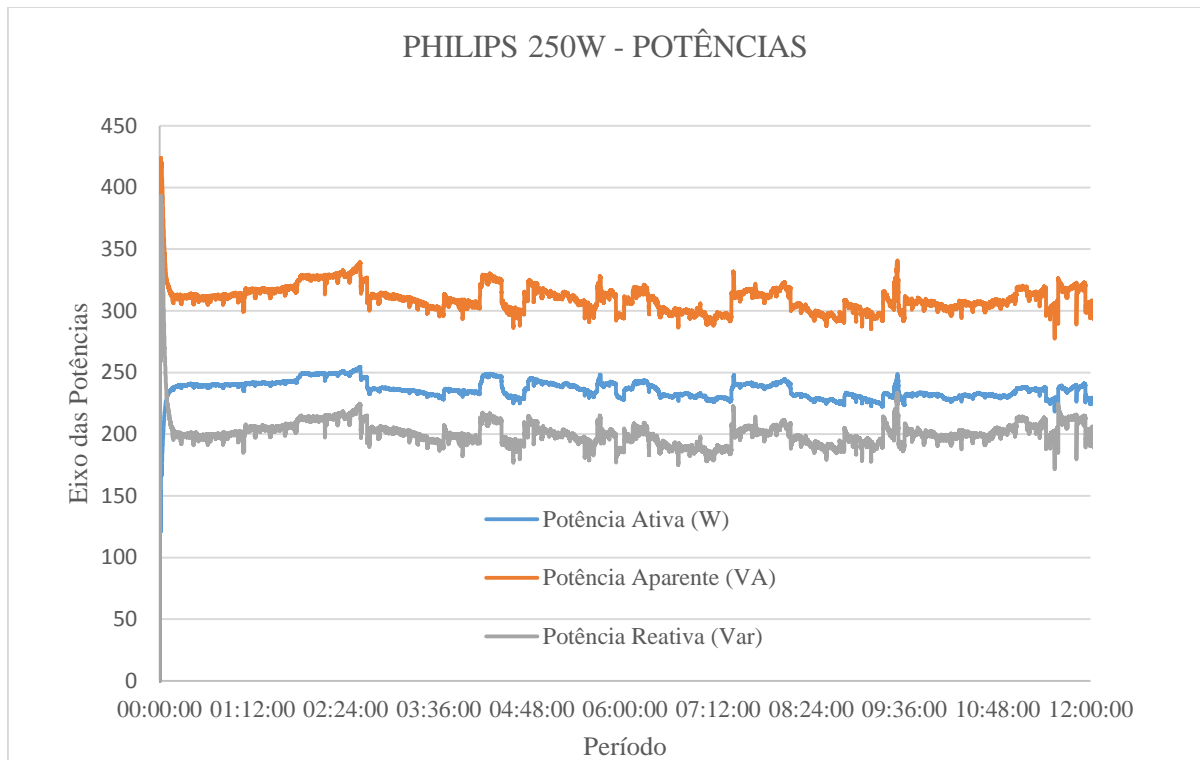


Figura 34 - Comportamento das potências do Philips ao longo do período de integralização



A motivação de conectar-se os reatores na rede de distribuição é descrita nos gráficos acima. A resposta da potência à oscilação de tensão, no caso do reator eletromagnético, pode resultar em uma grande depreciação do conjunto (lâmpada e reator).

Do reator Dibawatt, conforme Fig. 33, é notável a qualidade de energia injetada a carga em todo o ciclo de energização.

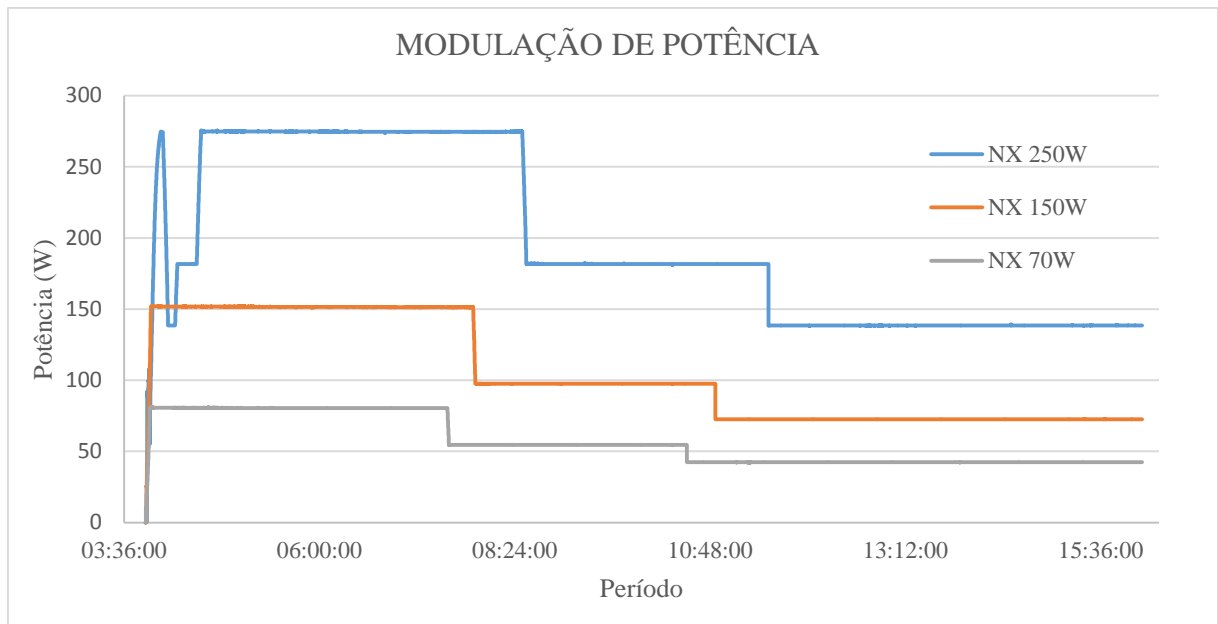
Ressalta-se que estas análises foram realizadas em período diurno, portanto, não são obtidos valores altos de tensão ocasionados pela redução de cargas e alteração do TAP dos transformadores que distribuem essa energia em baixa tensão.

5.2.8 Comportamento do ciclo de trabalho do reator eletrônico em modo dimerizável

Esse teste foi realizado com o modo auto-dimerizável (Marrom e Azul) mostrando o comportamento resultante do modo de programação. Consegue-se visualizar os estágios de operação bem definidos: Ignição até a potência plena, potência reduzida mínima, potência reduzida e potência plena.

A defasagem dos períodos de troca de potência de cada reator se dá unicamente pela configuração do modo de operação (Fig. 35).

Figura 35 - Comportamento do Dibawatt em modo dimerizável ao longo do período de integralização

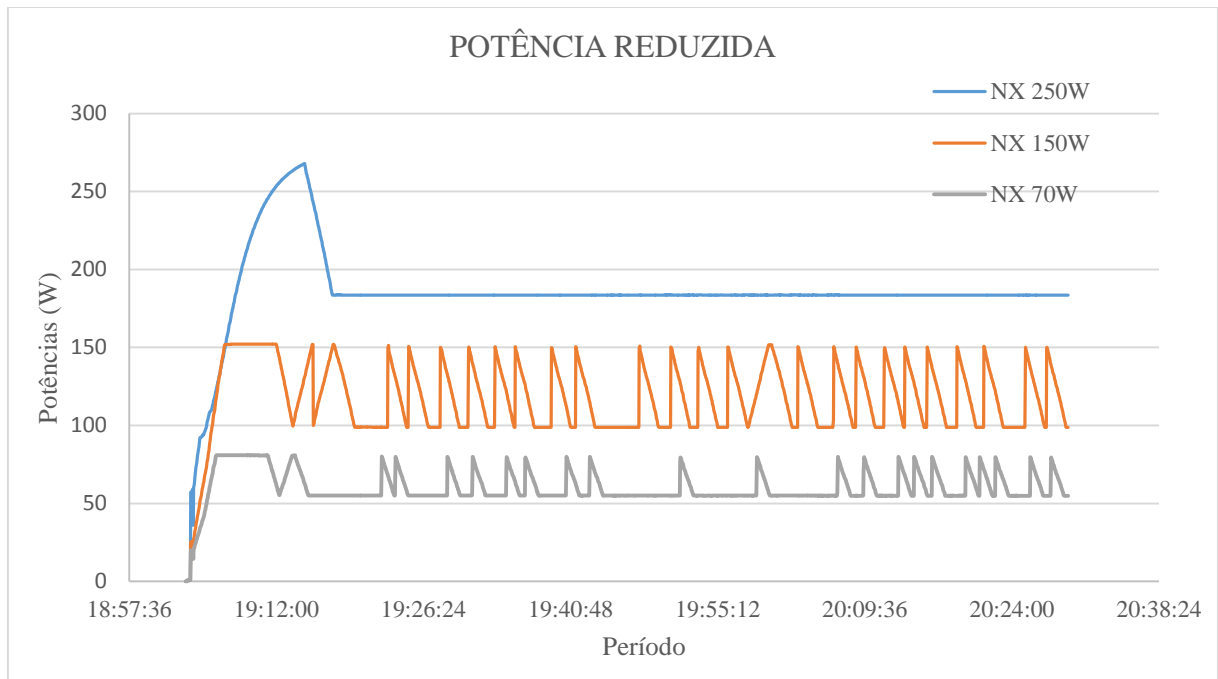


5.2.9 Comportamento do ciclo de trabalho em modo de potência reduzida

Teste com o modo de potência reduzida (Vermelho e Marrom) mostrando o comportamento resultante do modo de programação (Figura 36).

Para este modo, a ignição da lâmpada também se dá até a potência plena, após isso se inicia o estágio em potência reduzida, que é 65% da potência nominal.

Figura 36 - Comportamento do Dibawatt em modo de potência reduzida



Do gráfico acima, tem-se as seguintes observações:

1. Reator Dibawatt NX 70W

Não foi possível fazer a análise correta, devido a influência na programação do produto.

2. Reator Dibawatt NX 150W

Não foi possível fazer a análise correta, devido a influência na programação do produto.

3. Reator Dibawatt NX 250W

Comportamento aceito e apto.

O comportamento “oscilatório” mostrado na Fig. 36 também aconteceu em análise anterior, porém este foi solucionado após reprogramação do código do microprocessador. Pelo motivo desta análise ter sido feita sem a presença do engenheiro projetista, não se pôde corrigir o problema das variações de potência que estão “oscilando” de seu valor pleno para seu valor reduzido, nos casos de 70 e 150 Watts.

5.3 Análise das características Fotométricas

Nesta seção são apresentadas as análises fotométricas dos produtos. Sem esta análise fotométrica é impossível descobrir a eficiência energética dos produtos Dibawatt, ainda não disponíveis no mercado, confrontando com os produtos brasileiros já consolidados no mercado nacional.

Primeiramente, foi feita uma análise de equivalência dos produtos (reatores e lâmpadas). Com os resultados que serão expostos a seguir (Tabela 24) será verificado se há influência da lâmpada utilizada para os testes. Estas lâmpadas foram numeradas para garantir exatidão na análise.

Posteriormente foi feita a análise fotométrica com variação de tensão para ambos os tipos de reatores. Com a variação de tensão se garantiu um resultado exato da eficiência energética do Dibawatt.

Para estas análises também foram respeitadas as horas mínimas de funcionamento e o período após ignição dos mesmos, citados na seção 2.5.5. Para cada variação de tensão de 5 V, aguardou-se o período de estabilização da iluminância (cerca de 5 minutos) para prosseguir com as análises. A referência para os cálculos percentuais é a análise em 220 V.

5.3.1 Equipamentos em Teste

Esta análise compreende a análise dos reatores eletrônicos Dibawatt e três potências características, confrontados com reatores eletromagnéticos Philips (Tabela 24).

Tabela 24 - Reatores e lâmpadas utilizadas

Eletromagnéticos Philips	Eletrônicos Dibawatt	Lâmpada Philips
70W	NX 70W	70W
150W	NX 150W	150W
250W	NX 250W	250W

As análises de variação de tensão utilizando o Goniofotômetro foram feitas com a mesma lâmpada para cada potência, substituindo apenas o reator. Foram testadas e numeradas duas lâmpadas para cada produto. Os resultados de eficiência (lm/W) que serão apresentados posteriormente são do conjunto analisado (reator + lâmpada). Para medir a eficiência da lâmpada (Tabela 25) deve-se fazer a divisão do Fluxo Luminoso pela potência ativa entregue à lâmpada.

Tabela 25 - Análise de equivalência dos produtos 70W

	Produto	Lâmpada	Potência (W)	Eficiência (lm/W)	Fluxo luminoso (lm)
Dibawatt 70W	1	1	74,57	73,1	5.453,3
		2	74,68	72,7	5.426,8
Dibawatt 70W	2	1	80,23	76,5	6.141,5
		2	80,3	75,1	6.033,9
Dibawatt 150W	1	1	151,3	84,8	12.840
		2	151,3	84,2	12.739
Dibawatt 250W	1	1	274,7	100,2	27.528
		2	274,7	99,7	27.295

5.3.2 Reator eletrônico Dibawatt NX 70W

Compreende a análise do comportamento do fluxo luminoso com a variação de tensão de entrada do reator eletrônico 70W (Tabela 26).

Tabela 26 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 70W

Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Luminoso (lm)					
230	4,5%	80,15	-0,1%	0,353	-4,3%	76,7	0,3%	6151,2	0,2%
225	2,3%	80,22	0,0%	0,361	-2,2%	76,6	0,1%	6148,1	0,1%
220	-	80,23	-	0,369	-	76,5	-	6141,5	-
215	-2,3%	80,26	0,0%	0,377	2,2%	76,5	0,0%	6143,8	0,0%
210	-4,5%	80,33	0,1%	0,386	4,6%	76,5	0,0%	6143,2	0,0%
205	-6,8%	80,41	0,2%	0,395	7,0%	76,4	-0,1%	6145,6	0,1%
200	-9,1%	80,5	0,3%	0,405	9,8%	76,3	-0,3%	6144	0,0%
195	-11,4%	80,58	0,4%	0,416	12,7%	76,3	-0,3%	6146,8	0,1%

A análise com variação de tensão mostra que o produto Dibawatt responde corretamente a variação de tensão sem variar seu fluxo luminoso.

As variações dos fluxos luminosos são desprezíveis ao se comparar o quanto de tensão foi variada.

5.3.3 Reator eletromagnético Philips 70W

A análise com variação de tensão mostra que o produto eletromagnético tem grande variação de fluxo luminoso com sua variação de tensão. Pelas normas do PRODIST (+5 e -10%) temos que seu fluxo luminoso chega a reduzir 43,6% do seu valor nominal (Tabela 27).

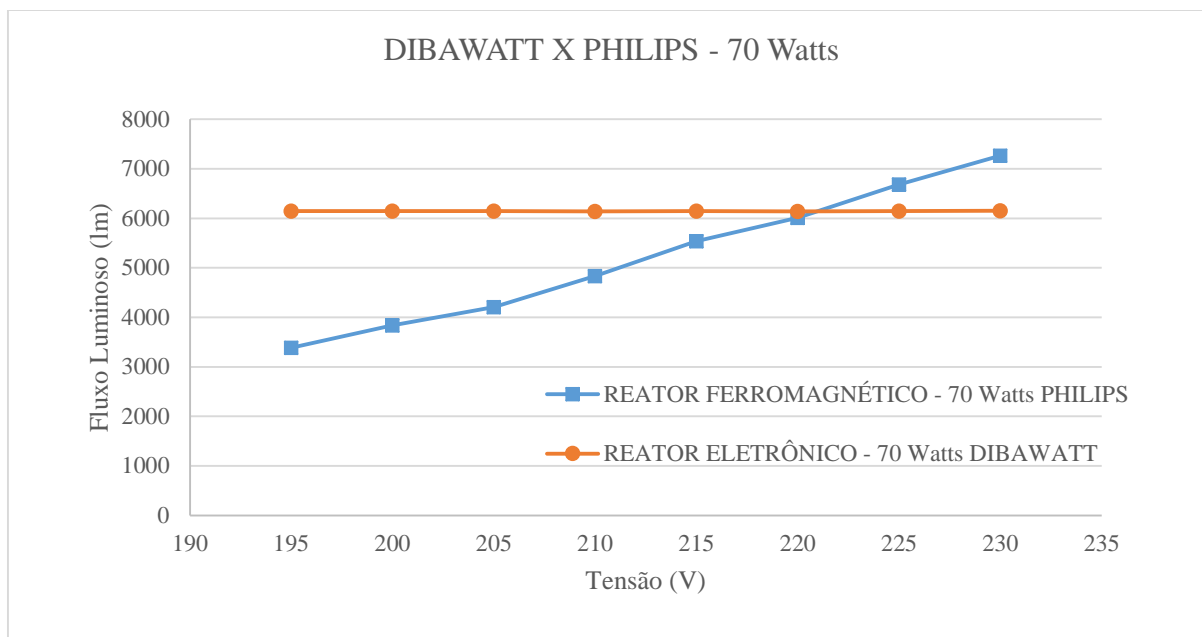
Tabela 27 – Resultado da variação de tensão do Philips 70W

Tensão (V)		Potência (W)		Corrente (A)		Eficiência (lm/W)		Fluxo Luminoso (lm)	
230	4,5%	99,98	13,2%	0,455	8,9%	72,7	6,8%	7267,6	20,9%
225	2,3%	94,12	6,6%	0,437	4,5%	71	4,3%	6681,5	11,1%
220	-	88,32	-	0,418	-	68,1	-	6011,4	-
215	-2,3%	82,76	-6,3%	0,401	-4,1%	66,9	-1,8%	5536,2	-7,9%
210	-4,5%	77,34	-12,4%	0,383	-8,4%	62,5	-8,2%	4834,7	-19,6%
205	-6,8%	72,51	-17,9%	0,367	-12,2%	58	-14,8%	4208,9	-30,0%
200	-9,1%	68,26	-22,7%	0,353	-15,6%	56,3	-17,3%	3839,7	-36,1%
195	-11,4%	64,29	-27,2%	0,34	-18,7%	52,7	-22,6%	3388	-43,6%

A Fig. 37 representa a síntese dos reatores de 70 Watts mostradas nas seções 5.3.2 e 5.3.3. Com a análise fotométrica de variação de tensão se consegue um valor mais próximo do real de eficiência energética, que se dará pela intersecção entre as duas linhas. Do ponto de intersecção, foram extraídas as potências dos reatores eletrônico e eletromagnético. A diferença entre as potências é o resultado da eficiência energética.

Ainda do ponto de intersecção, tem-se que quanto mais a intersecção entre as linhas se direcionar à direita do ponto de 220 Volts, maior será o resultado de Eficiência Energética do reator eletrônico.

Figura 37 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 70W



5.3.4 Reator eletrônico Dibawatt NX 150W

Compreende a análise do comportamento do fluxo luminoso com a variação de tensão de entrada do reator eletrônico 150W (Tabela 28).

Tabela 28 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 150W

Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Luminoso (lm)
230	151,1	0,661	84,9	12837
225	151,3	0,676	84,9	12840
220	151,3	0,691	84,8	12840
215	151,5	0,707	84,6	12820
210	151,5	0,724	84,6	12815
205	151,6	0,743	84,4	12808
200	151,8	0,761	84,3	12792
195	152	0,782	84,1	12779

5.3.5 Reator eletromagnético Philips 150W

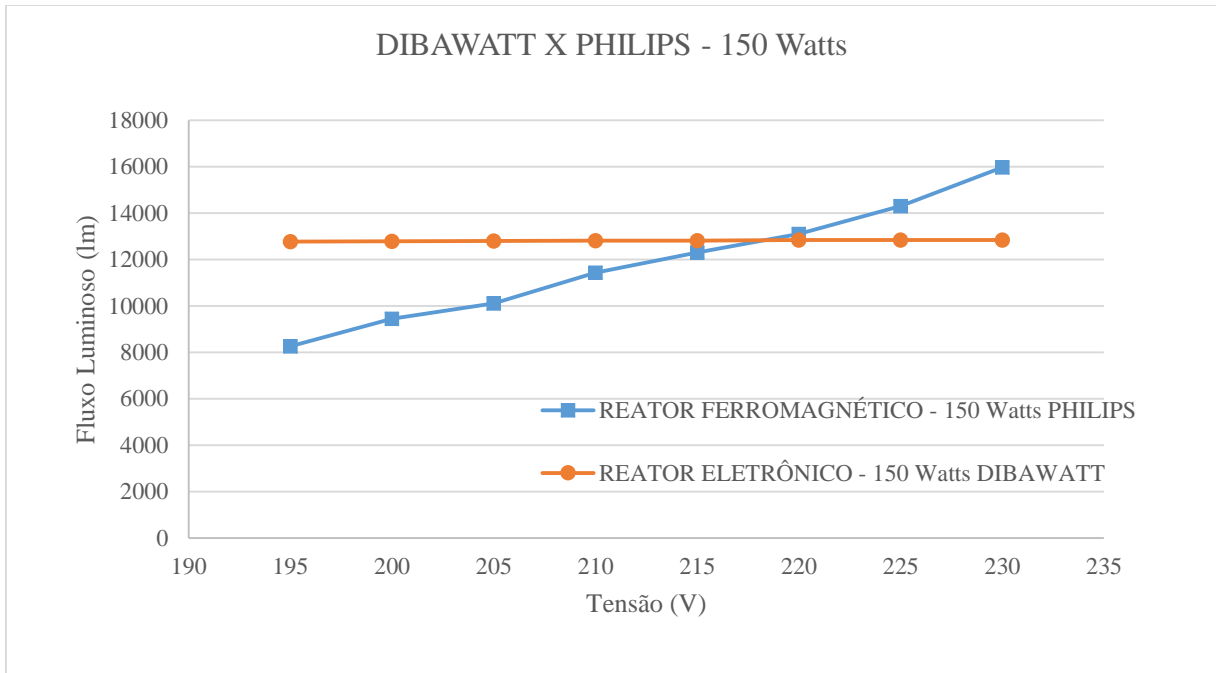
A análise com variação de tensão mostra que o produto eletromagnético tem grande variação de fluxo luminoso com sua variação de tensão. Pelas normas do PRODIST (+5 e - 10%) temos que seu fluxo luminoso chega a reduzir 37% do seu valor nominal (Tabela 29).

Tabela 29 - Resultado da variação de tensão do Philips 150W

Tensão (V)		Potência (W)		Corrente (A)		Eficiência (lm/W)		Fluxo Luminoso (lm)	
230	4,5%	185,5	12,0%	0,839	7,8%	85,6	8,2%	15971	21,9%
225	2,3%	175,8	6,2%	0,809	4,0%	81,4	2,9%	14311	9,2%
220	0,0%	165,6	0,0%	0,778	0,0%	79,1	0,0%	13100	0,0%
215	-2,3%	157,1	-5,1%	0,707	-9,1%	78,3	-1,0%	12305	-6,1%
210	-4,5%	148,3	-10,4%	0,725	-6,8%	77,1	-2,5%	11432	-12,7%
205	-6,8%	140,3	-15,3%	0,701	-9,9%	72,1	-8,8%	10119	-22,8%
200	-9,1%	132,3	-20,1%	0,677	-13,0%	71,4	-9,7%	9455,6	-27,8%
195	-11,4%	124,6	-24,8%	0,654	-15,9%	66,2	-16,3%	8258,8	-37,0%

Da mesma forma que para a análise dos produtos 70 Watts, o ponto de intersecção entre as linhas, dará o resultado da eficiência energética (Fig. 38).

Figura 38 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 150W



5.3.6 Reator eletrônico Dibawatt NX 250W

Compreende a análise do comportamento do fluxo luminoso com a variação de tensão de entrada do reator eletrônico 250W (Tabela 30).

Tabela 30 - Resultado da variação de tensão do Dibawatt 250W

Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Luminoso (lm)
230	274,1	1,204	100,3	27495
225	274,3	1,231	100,2	27508
220	274,7	1,26	100,2	27528
215	275,1	1,289	100,4	27629
210	275,6	1,321	100,2	27617
205	276,1	1,355	100	27614
200	276,3	1,39	99,9	27605
195	276,8	1,427	99,6	27591

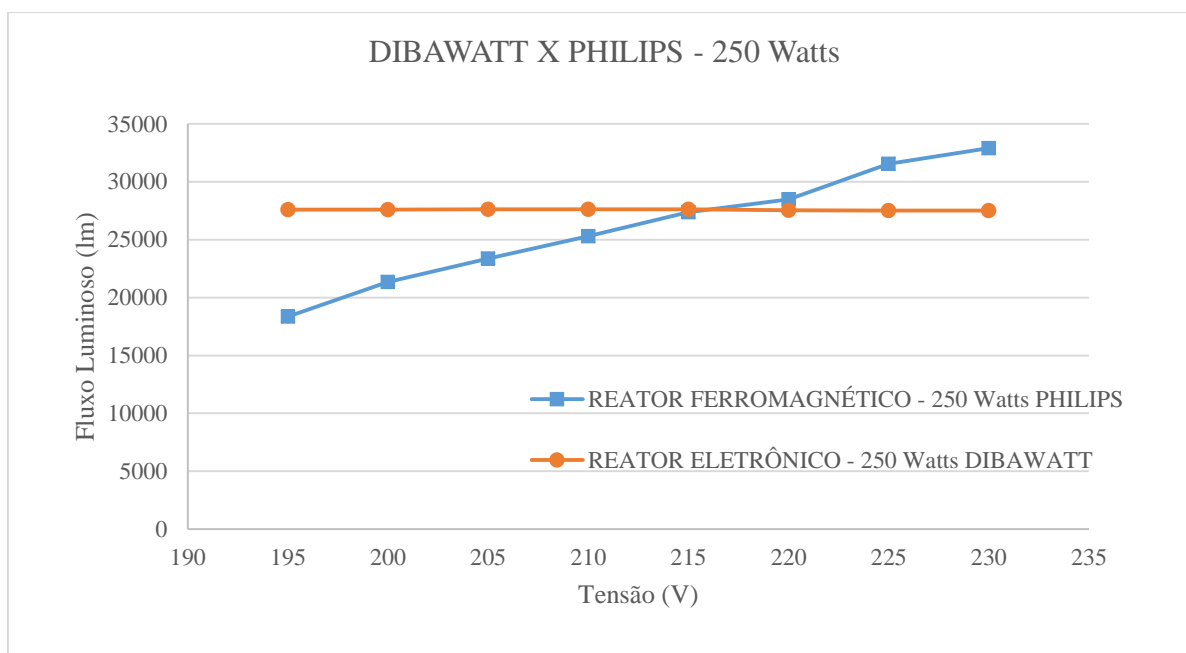
5.3.7 Reator eletromagnético Philips 250W

A análise com variação de tensão mostra que o produto eletromagnético tem grande variação de fluxo luminoso com sua variação de tensão. Pelas normas do PRODIST (+5 e - 10%) temos que seu fluxo luminoso chega a reduzir 35,6% do seu valor nominal (Tabela 31).

Tabela 31 - Resultado da variação de tensão do Diba watt 250W

Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Luminoso (lm)
230	324,2	1,523	101,5	32908
225	306,6	1,448	102,9	31551
220	288,2	1,388	98,8	28485
215	271,1	1,343	101	27374
210	254,6	1,287	99,4	25299
205	238	1,229	98,2	23361
200	223,6	1,187	95,5	21356
195	210,6	1,146	87,1	18350

Figura 39 - Comportamento do Fluxo Luminoso com a variação de tensão para 250W



5.3.8 Comportamento da fotometria em modo de potência reduzida

1. Reator Dibawatt NX 70W

Erro no comportamento de potência devido a falha na programação do mesmo. Idem item 5.2.9.

2. Reator Dibawatt NX 150W

Erro no comportamento de potência devido a falha na programação do mesmo. Idem item 5.2.9.

3. Reator Dibawatt NX 250W (Tabela 32)

Tabela 32 - Percentual de redução com alteração do modo de operação

	NX 250W (Potência Plena)	NX 250W (Potência Reduzida)
Potência (W)	274,7	183,5
Redução de Potência (%)		33,20%
Eficiência Luminosa (lm/W)	99,7	87,2
Redução da Eficiência Luminosa (%)		12,54%
Fluxo Luminoso (lm)	27.295	16.008
Redução do fluxo luminoso (%)		41,35%

5.4 Eficiência energética do produto Dibawatt® NX

Com a variação de tensão se conseguiu um valor aproximado da economia de energia. Para se ter um valor mais preciso foi utilizada uma simulação matemática através da função “Atingir meta” do Excel®, levando em conta a Potência e a Eficiência Luminosa, para chegar em qual potência ambos os produtos teriam o mesmo Fluxo Luminoso, chegando aos valores da Tabela 33.

Tabela 33 - Eficiência Energética

Modelo	Potência do Reator (Watts)		
	Ferromagnético	Eletrônico	Economia
70 Watts	90,243	80,23	12,5%
150 Watts	162,028	151,30	7,1%
250 Watts	279,083	274,7	1,6%

5.5 Método para cálculo de vida útil do alimentador Dibawatt® NX

Para ser capaz de estimar a vida útil do alimentador Dibawatt NX, foi necessário pesquisar alguns métodos de simulação que permitem estimativas realistas. Dentro do circuito eletrônico examinado, em condições de uso compatível com as especificidades das diversas peças usadas, os componentes que são sujeitos à degradação de grande relevância são os capacitores eletrolíticos.

Decidiu-se examinar o comportamento térmico dessa categoria de componentes, usando uma extrapolação estatística, para estimar a vida útil.

O modelo utilizado para a estimativa da vida útil dos capacitores, o que significa que a vida de todo alimentador, baseia-se num cálculo desenvolvida pela Rubycon (RUBYCON, 2014).

O equacionamento é fundamentado no efeito combinado que a temperatura de funcionamento e corrente da carga tem sobre a vida de trabalho do capacitor.

$$L = L_0 \cdot F(I) \cdot F(T) \quad (6)$$

Onde:

$$F(I) = 2^{\left(c \frac{\Delta T_j}{10 - 0,25 \cdot (\Delta T_j)}\right)} \quad (7)$$

$$F(T) = 2^{\frac{T_{max} - T_a}{10}} \quad (8)$$

$$\Delta T_j = \Delta T_{j0} \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (9)$$

L = vida estimada com as condições operacionais atuais;

L_0 = vida estimada com as condições padrões;

c = variável relacionada à família que o produto pretende;

ΔT_j = Aumento de temperatura causado pelo ripple atual de corrente;

ΔT_{j0} = Aumento de temperatura causado pelo ripple máximo de corrente;

T_a = Temperatura ambiente em que o capacitor opera;

T_{max} = Temperatura máxima admissível;

I_0 = Ripple máximo de corrente;

$I = (I_{rms}/I_0)$ onde I_{rms} representa a corrente medida no condensador e F_x é um fator de conversão que depende da frequência de sinal;

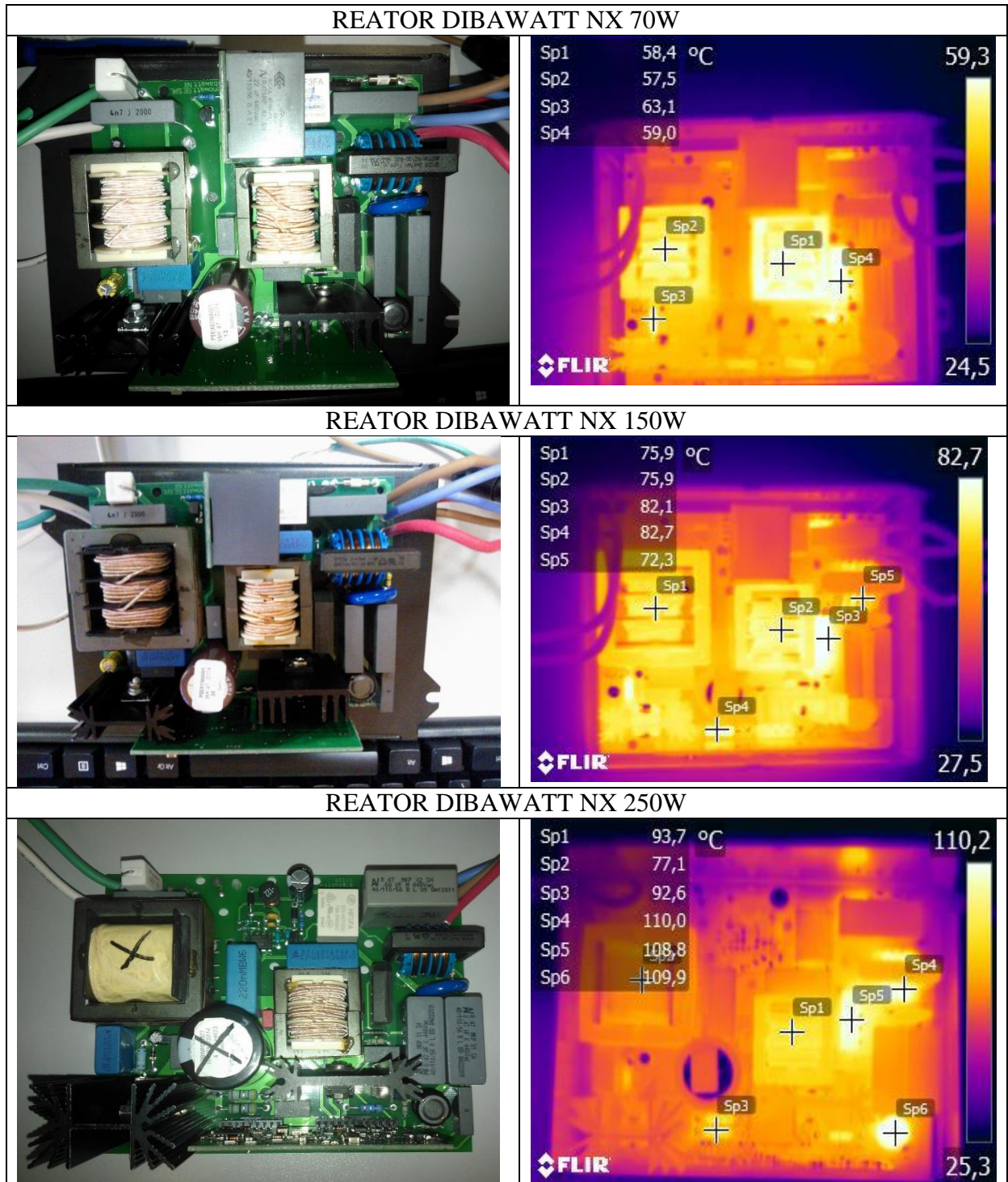
5.5.1 Método de teste

Para atingir uma situação de equilíbrio térmico, os reatores funcionaram durante 2 horas consecutivas. Ressaltando que o produto deve estar fechado para simular uma condição de operação mais próxima da realidade. Após atingido o equilíbrio térmico é aberta a carcaça do reator e feita a captura da imagem térmica.

As medidas térmicas são feitas com a câmera térmica FLIR T420 (Fig. 17). Com o auxílio do software da câmera, FLIR[®] Tools +, se consegue fazer a manipulação da imagem capturada, ajustando a emissividade de cada material e/ou cobertura do mesmo, para assim conseguir uma temperatura mais exata.

Abaixo (Fig.40) é exposta a grade com as imagens capturadas que foram utilizadas para a análise de vida útil. À esquerda tem-se as imagens reais do produto aberto e à direita a imagem térmica do produto.

Figura 40 - Grade de imagens reais e térmicas dos produtos



5.5.2 Estimativa da vida dos componentes Dibawatt NX

1. Dibawatt NX 70 WATTS

Aluminium electrolytic capacitors – KJX 100 μ F 18x35 mm (NIPPON CHEMI-CON, 2014).

2. Dibawatt NX 150 WATTS

Aluminium electrolytic capacitors – KJX 100 μ F 18x35 mm (NIPPON CHEMI-CON, 2014).

3. Dibawatt NX 250 WATTS

Aluminium electrolytic capacitors – Rubycon NXG 220 μ F 25x45 mm (RUBYCON, 2014).

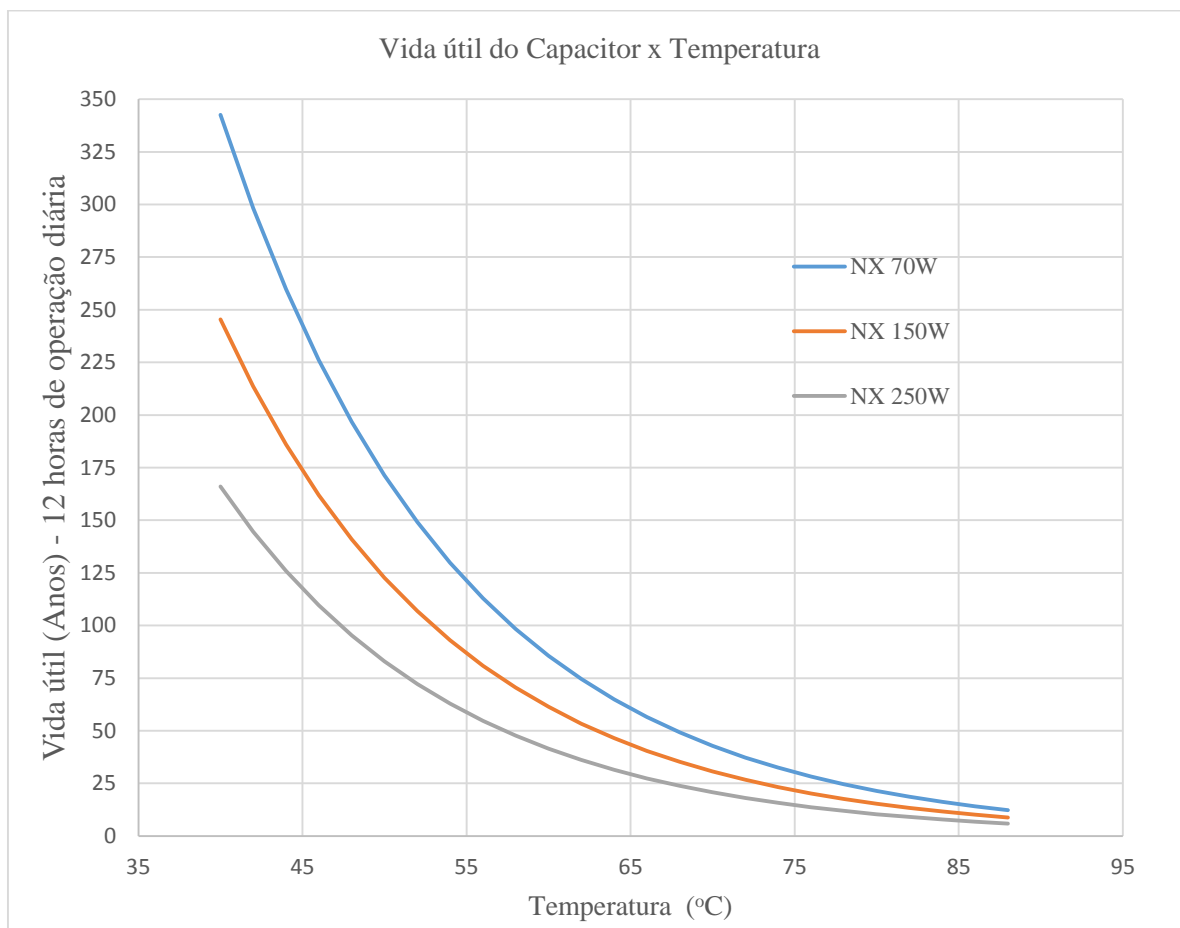
Através das equações 6, 7, 8 e 9 e dos parâmetros dos capacitores expostos nas folhas de dados dos mesmos, temos os resultados mostrados na Tabela 34.

Tabela 34 – Parâmetros resultantes do datasheet e equacionamento

	NX 70W	NX 150W	NX 250W
L_0	12.000 horas	12.000 horas	10.000 horas
F_x	2,05	2,05	1,4
ΔT_{j0}	5	5	5
I_0	0,835 A	0,835 A	1,55 A
c	0,571	0,571	0,571
T_{max}	105 °C	105 °C	105 °C
I_{rms}	0,84092 A	1,75625 A	2,63825 A
I	0,410205 A	0,856707 A	1,884464 A
ΔT_j	1,206698 °C	5,263347 °C	7,390647 °C
T_a	48 °C	68 °C	79 °C
$F(I)$	1,362803	0,975974	0,792472
$F(T)$	51,98415	12,99604	6,062866
L	850.129,7 horas	152.205,5 horas	48.046,53 horas

Do equacionamento de estimativa de vida útil dos capacitores, consegue-se obter a curva de vida útil do capacitor versus temperatura. O gráfico (Fig. 41) faz a estimativa dos anos de vida, caso o reator opere 12 horas diárias.

Figura 41 - Gráfico da estimativa da vida útil do capacitor em função da temperatura



Denota-se então que qualquer redução de temperatura no capacitor do Dibawatt NX 250W, aumentaria consideravelmente sua vida. Se o projetista conseguir reduzir em 10°C a temperatura do capacitor do modelo de 250W, operando 12 horas por dia em potência plena, sua vida passaria de 11 para 25 anos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A verificação das características reais dos reatores eletromagnéticos é de grande importância para que se possa ter a confiança de que os produtos utilizados estão atendendo às normas, e, também, que o reator eletrônico seja projetado a fim de se obter melhor qualidade de energia, eficiência energética e viabilidade econômica.

A Implantação desta solução terá repercussão direta no mercado de energia elétrica, nos quesitos:

- Demanda;
- Consumo de energia;
- Qualidade de energia;
- Controle de iluminação;
- Fator de Carga local.

Da primeira avaliação com os reatores obtém-se que os produtos licitados pela prefeitura são equivalentes aos eletromagnéticos disponíveis no mercado. Para o reator eletrônico foi concedida uma economia de energia de, aproximadamente, 30%, porém esta resultou na redução considerável do nível de iluminação.

A não garantia de um mesmo nível de iluminação fez com que o produto necessitou ser reprojetoado.

O novo produto Dibawatt também garantiu sua excelência na qualidade de energia prestada e, também, foi conseguido acréscimo no fluxo luminoso emitido, garantindo os resultados de eficiência energética de 12,5, 7,1 e 1,6% para os produtos 70, 150 e 250W, respectivamente.

Com a estimativa de vida útil e o resultado de eficiência energética do produto Dibawatt NX 70W poder-se-á ter um ótimo resultado de viabilidade econômica

7 TRABALHOS FUTUROS

Serão feitas as análises do produto Dibawatt NX 100W, esta não ocorreu por motivos de importação do produto equivalente eletromagnético e das lâmpadas HPS 100W que são pouco disponíveis no mercado nacional.

As análises de viabilidade econômica dos novos produtos eletrônicos serão concedidas após a apresentação do custo de aquisição do Dibawatt perante a empresa fabricante. A viabilidade econômica também pode ser feita, estimando o custo do produto dado um RCB (Relação Custo-Benefício).

Também serão feitas as análises com o Goniôfotômetro dos novos padrões de luminárias estipulados pela ABNT, com a finalidade de conseguir o ganho energético real da substituição do conjunto (reator, lâmpada e luminária). Através da análise fotométrica com o Goniôfotômetro se consegue os dados reais do ângulo de abertura das luminárias e o nível de iluminação emitido para cada altura de montagem. Assim, consegue-se simplificar a implantação dos novos projetos de eficiência e expansão de iluminação pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. E. d. N. y. Certificación, CEI IEC 61347-2-12: dispositivos de control de lámpara. Requisitos particulares para balastos electrónicos alimentados en corriente continua o alterna para lámparas de descarga (excepto lámparas fluorescentes): AENOR, 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 414: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica.** Brasília, set. 2010.

_____ **Resolução Normativa N° 456: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica.** Brasília, nov. 2000.

_____ **PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8 – Qualidade de Energia.** ANEEL, 2015.

ALONSO, J. M.; DALLA-COSTA, M. A.; MARTIN-RAMOS, J. A. **Dynamic modelling of discharge lamps through step response**, Electronics Letters, vol. 41, pp. 1078-1080, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5101: Iluminação pública.** Rio de Janeiro, 04mai. 1992. 22 p.

_____ **ABNT NBR 5101: Iluminação Pública - Procedimento.** Rio de Janeiro, 04mai. 2012. 35 p.

_____ **ABNT NBR 5461: Iluminação.** Rio de Janeiro, dez. 1991. 90 p.

_____ **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho.** Rio de Janeiro, abr. 2013. 46 p.

_____ **ABNT NBR 13593:2011: Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio de alta pressão – Especificações e ensaios.** Rio de Janeiro, fev. 2011. 39 p.

_____ **ABNT NBR 15129:2012: Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares.** Rio de Janeiro, ago. 2012. 16 p.

_____ **ABNT NBR IEC 60529: Grau de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (códigos IP) - versão corrigida 2: 2011.** Rio de Janeiro, mar. 2005. 40 p.

_____ **ABNT NBR IEC 60662: Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão.** Rio de Janeiro, mai. 1997. 119 p.

BRAGA, Henrique A. C.; PINTO Danilo P.; ROSEMBACK, Ricardo. H.; ABREU, Rodnei A.; RODRIGUES, Márcio do C. B. P.; et al. "**Degradação da qualidade de reatores eletromagnéticos de lâmpadas de descarga,**" in Industry Applications (INDUSCON), 2010 9th IEEE/IAS International Conference on, 2010, pp. 1-6.

CASTRO, Aurora Gil de; MUNOZ, Antonio Moreno. **Characterizing the harmonic attenuation effect of high-pressure sodium lamps**, in Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on, 2010, pp. 1-6.

CASTRO, Aurora Gil de; MUNOZ, Antonio Moreno; LOPEZ, Victor P.; PEREZ, Agustín A. **Harmonic effect in street lighting**. Em Compatibility and Power Electronics (CPE), 2011 7th International Conference-Workshop, 2011, pp. 16-21.

CIE – Commission Internationale de L’Eclairage. **CIE 121 – 1996 – The photometry and goniophotometry of luminaires**.

CE – COMISSÃO EUROPEIA. **Regulamento nº 347/2010: Requisito mínimo de eficiência energética para alimentadores com lâmpada de vapor de sódio de alta pressão**. Bruxelas. 21abr. 2010.

COPETTI, Guilherme Luiz Zancan. **Eficiência Energética em Ambientes de Ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso – UNIPAMPA. Alegrete, 2013.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPU-CRS, 2000.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPU-CRS, 2006.

DALLA COSTA, Marco A.; MARCHESAN, Tiago B.; SILVEIRA, Jeferson S. da; SEIDEL, Álysson R.; R. PRADO, Nederson do; ALONSO ALVAREZ, José M. **Integrated Power Topologies to Supply HPS Lamps: A Comparative Study**. Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 25, pp. 2124-2132, 2010.

DOLARA Alberto; FARANDA, Roberto; GUZZETTI, Stefania; LEVA, Sonia. **Power quality in public lighting systems**, in Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on, 2010, pp. 1-7.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Anuário estatístico de energia elétrica 2013**. EPE, 2013.

IBAM/PROCEL. **Guia Técnico PROCEL RELUZ: Iluminação pública eficiente**. Rio de Janeiro, 2004. 176 p.

KAISER, Walter. **Alimentação Pulsada de Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão**. Tese (Concurso de Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2002.

LUNARDI, Nathalie de Oliveira. **Eficiência Energética: Iluminação de Interiores em Ambientes de Trabalho – Estudo de Caso no Centro Administrativo Municipal de Alegrete**. Trabalho de Conclusão de Curso – UNIPAMPA. Alegrete, 2014.

MENOWATT GE. **DIBAWATT: Efficienza energética degli impianti di pubblica illuminazione**. Disponível em: < <http://migre.me/qGzkO> >. Acesso em 2abr. 2014.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Plano_Nacional_de_Eficia_ncia_Energxica_-_PNEf_-_final.pdf>. Acesso em 11nov. 2014.

MOLINA, Julio, SAINZ, Luis; MONJO, Lluís, **Model of discharge lamps with saturated magnetic ballast and non-square arc voltage**, Electric Power Systems Research, vol. 104, pp. 42-51, dez. 2013.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. São Paulo, 1987.

NIPPON CHEMI-CON CORPORATION, **Miniature aluminum electrolytic capacitors: KJX specifications series**. Disponível em: <<http://www.chemi-con.co.jp/e/calatog/aluminium.html>>. Acesso em 14dez. 2014.

OLIVO S/A – PRODUTOS ELÉTRICOS. **Projetores com alojamento integrado / PJA400T/ALOJ**. Disponível em: <<http://www.olivosa.com.br/protudo/iluminacao-especifica-projetores/projetores-alojamento-integrado/pja400t-aloj-36.html>>. Acesso em 23abr. 2014.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Gestão Energética Municipal**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/procel/.../FileDownload.EZTSvc.asp?>> . Acesso em 12mai. 2014.

PRUDENZI, A.; GRASSELLI, U.; LAMEDICA, R. **IEC Std. 61000-3-2 harmonic current emission limits in practical systems: need of considering loading level and attenuation effects**, in Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, 2001, pp. 277-282 vol.1.

RUBYCON CORPORATION, **Large can type aluminum electrolytic capacitors**. Disponível em: <<http://www.rubycon.co.jp/en/products/alumi/catalog.html>>. Acesso em 14dez. 2014.

RUBYCON CORPORATION, **Life of aluminum electrolytic capacitors**. Disponível em: <<http://www.rubycon.co.jp/en/products/alumi/pdf/Life.pdf>>. Acesso em 14dez. 2014.

SILVA, Mauri Luiz da. **Luz, lâmpadas e iluminação**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

SYLVANIA. **Lamps, Engineering Bulletin**. Danvers, Massachusetts, 1972. 346 p.

UNI – Ente Italiano di Normazione. **Illuminazione stradale: Selezione delle categorie illuminotecniche**. 04out. 2012.

WUERGES, S. A. **Reator eletrônico para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 250W sem estágio ativo de correção de fator de potência**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFSC. Florianópolis, 2004.

VAN VLIET, A. M.; GROOT J. J. de. **High-pressure sodium discharge lamps**, Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education - Reviews, IEE Proceedings A, vol. 128, pp. 415-441, 1981.