

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BENHUR FONTOURA CORRÊA
RAFAEL LUIZ GUAREZ

**AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE PATO BRANCO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

BENHUR FONTOURA CORRÊA
RAFAEL LUIZ GUAREZ

**AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE PATO BRANCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Me. César Augusto Portolann

PATO BRANCO

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE PATO BRANCO**”, do(s) aluno(s) “**BENHUR FONTOURA CORRÊA**” e “**RAFAEL LUIZ GUAREZ**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 86 de 2015.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof. Me. César Augusto Portolann

Prof. Me. Beatriz Antonina Fontana de Vargas

Prof. Me. Géremi Gilson Dranka

A Folha de Aprovação assinada encontra-se no Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

Dedico o meu TCC aos meus pais e irmãos que, com muita paciência e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa. A todos aqueles que fizeram do meu sonho realidade, me proporcionando forças para que eu não desistisse de ir atrás do que buscava para minha vida. Muitos obstáculos foram impostos para mim durante esses últimos anos, mas graças a vocês eu não fraquejei. Obrigado por tudo família, professores, amigos e colegas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Me César Augusto Portolann, pela orientação, apoio e confiança, tornando possível a realização deste trabalho e a todos os professores que nos acompanharam durante a graduação, por proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão o nosso eterno agradecimento.

Aos amigos Daniel Prado de Campos, Jackson Ramires Maia de Almeida e Ricardo Jhonathan Prado pelo incentivo e grande ajuda. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de nossa formação, o nosso muito obrigado.

EPÍGRAFE

And you run and you run to catch up with the sun, but it's sinking, and racing around to come up behind you again. The sun is the same in a relative way, but you're older, shorter of breath and one day closer to death (Pink Floyd, 1974).

E você corre e corre atrás do sol, mas ele está se pondo e fazendo a volta para nascer outra vez atrás de você. De uma maneira relativa o sol é o mesmo, mas você está mais velho, com menos fôlego e um dia mais perto da morte (Pink Floyd, 1974).

RESUMO

CORREA, Benhur Fontoura; GUAREZ, Rafael Luiz. AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE PATO BRANCO. 2015. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Este trabalho apresenta uma avaliação da conservação de energia elétrica no sistema de iluminação pública do município de Pato Branco. São abordados os pontos relevantes que, levaram à criação do Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e a indispensabilidade do uso racional de energia. Também é apresentado um breve retrospecto sobre a iluminação artificial, a sua importância para a humanidade, bem como os primórdios da iluminação pública no Brasil. São apontados os conceitos básicos de fotometria, os principais tipos de lâmpadas e equipamentos auxiliares utilizados nos sistemas de iluminação pública, bem como o *Light Emitting Diode* (LED). Com o uso de luxímetro foi inspecionado o nível de iluminância dos cenários de estudo. A averiguação do sistema de iluminação pública, ampara-se na norma NBR 5101 para elaboração das grades de medição de iluminância horizontal. São adotados os valores de iluminância mínima e fator de uniformidade, apresentados na norma para cada tipo de via, como forma de avaliação do sistema atual. Os cenários escolhidos para estudo, os equipamentos que compõem o sistema de iluminação pública no local, e a configuração das grades de medição são descritos. Os dados de iluminância obtidos são comprovados através de simulação em *software* DIALux® EVO 3.0. Para cada trecho do sistema de iluminação pública escolhido para estudo, é proposta pelo menos uma solução possível para redução do consumo de energia elétrica comparada com o sistema atual.

Palavras-chave: Iluminação Pública. Conservação de Energia Elétrica. Iluminação Eficiente. Redução de Consumo. Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). LED em Iluminação Pública.

ABSTRACT

CORREA, Benhur Fontoura; GUAREZ, Rafael Luiz. Energy Conservation Evaluation in Pato Branco Street Lighting. 2015. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

This paper presents an evaluation of electricity conservation. The study was made in segments of Pato Branco street lighting system. Relevant points are discussed, which contributed to creation of the Electricity Conservation Program (PROCEL) and the indispensability of rational energy use. Also a brief retrospective on artificial lighting and its importance for humanity is presented as well as the beginnings of street lighting in Brazil. The basics of photometry, the main types of lamps and auxiliary equipment used in street lighting systems, and the LEDs are pointed out. The local illuminance level was inspected with the use of a light meter. The horizontal illuminance measuring grids were prepared based on normative NBR 5101 for street lighting system investigation. The values adopted for evaluation of the current system illuminance and uniformity for each type of road are the minimum required by normative. The equipments that make up the street lighting system the scenarios chosen for study and the measurement grids setting are described. The illuminance data is verified through DIALux® EVO 3.0 software simulation. In comparison with the current system, each one of the public lighting system chosen for study is proposed at least one possible solution to reduce electrical energy consumption.

Keywords: Road and Street Lighting. Evaluation of Energy Conservation. Efficient Lighting. Consume Reduction. LED in Street Lighting. PROCEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de energia na indústria por fonte	19
Figura 2 - Consumo de energia residencial.....	19
Figura 3 - Selo PROCEL	21
Figura 4 - Representação do fluxo luminoso, iluminância, intensidade luminosa e luminância em A, B, C e D respectivamente	27
Figura 5 - Espectro eletromagnético	28
Figura 6 - Arranjo unilateral, bilateral oposto alternado, bilateral oposto e arranjo empregado em canteiros centrais, da esquerda para a direita, respectivamente	35
Figura 7 - Malha de medição.....	41
Figura 8 - Equipamentos utilizados em campo: Fita métrica, trena métrica e luxímetro (TENMARS).	45
Figura 9 - Mercado do produtor. Vista da via e localização no mapa.....	46
Figura 10 - Centro cultural Raul Juglair Junior	49
Figura 11 - Localização prefeitura municipal de Pato Branco	50
Figura 12 - Extensão Avenida Tupi e área de estudo	52
Figura 13 - Luminárias apresentando defeito no cenário 1	54
Figura 14 - Alternativa de luminária para simulação	57
Figura 15 - Apresentação do cenário 1. $VP_{(1)}$, $FR_{(V)}$ e $VP_{(2)}$, da esquerda para a direita respectivamente	57
Figura 16 - Curvas isolux cenário 1	58
Figura 17 - Iluminância horizontal cenário 1	59
Figura 18 - Luminária LED 7 watts.....	61
Figura 19 - Solução 1 do cenário 1	61
Figura 20 - Curvas isolux solução 2	62
Figura 21 - Luminária <i>Iridium Gen3</i> LED.....	63
Figura 22 - Curvas isolux solução 3	63
Figura 23 - Luminárias apresentando defeito no cenário 2	65
Figura 24 - Apresentação do cenário 2. $VP_{(1)}$	67
Figura 25 - Apresentação do cenário 2. $VP_{(2)}$	67
Figura 26 - Solução 1 para $VP_{(1)}$.no cenário 2.....	68
Figura 27 - Solução 1 para $VP_{(2)}$ no cenário 2.....	68
Figura 28 - Luminária <i>SpeedStar</i>	69
Figura 29 - Solução 2 para $VP_{(1)}$ no cenário 2.....	70
Figura 30 - Solução 2 para $VP_{(2)}$ no cenário 2.....	70
Figura 31 - Luminárias obstruídas e com defeito no cenário 3.....	72
Figura 32 - Segundo trecho de medição, cenário 3.....	74
Figura 33 - Apresentação do cenário 3. $VP_{(1)}$	74
Figura 34 - Solução 1 para $VP_{(1)}$ no cenário 3.....	76
Figura 35 - Luminária <i>CitySphere</i>	77
Figura 36 - Solução 2 para $VP_{(1)}$ no cenário 3.....	77
Figura 37 - Trecho de medição cenário 4.....	79

Figura 38 - Solução para o cenário 4	81
Figura 39 - Lâmpada tipo vapor de sódio com selo PROCEL	93
Figura 40 - Reator para lâmpada tipo vapor de sódio com selo PROCEL	94
Figura 41 - Programador horário e interruptor crepuscular astronômico	95
Figura 42 - Detalhamento das curvas isolux do cenário 1	97
Figura 43 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, cenário 1	97
Figura 44 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, cenário 1	98
Figura 45 - Detalhamento das curvas isolux para solução 3, cenário 1	98
Figura 46 - Detalhamento das curvas isolux $VP_{(1)}$ do cenário 2	99
Figura 47 - Detalhamento das curvas isolux $VP_{(2)}$ do cenário 2	99
Figura 48 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, $VP_{(1)}$ do cenário 2.....	100
Figura 49 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, $VP_{(2)}$ do cenário 2.....	100
Figura 50 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, $VP_{(1)}$ do cenário 2.....	101
Figura 51 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, $VP_{(2)}$ do cenário 2.....	101
Figura 52 - Detalhamento das curvas isolux, $VP_{(1)}$ do cenário 3	102
Figura 53 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, $VP_{(1)}$ do cenário 3.....	102
Figura 54 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, $VP_{(1)}$ do cenário 3.....	102
Figura 55 - Detalhamento das curvas isolux para solução do cenário 4	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalo de comprimento de onda para cada cor	28
Tabela 2 - Temperatura de cor	29
Tabela 3 - Características das lâmpadas	32
Tabela 4 - Classificação do grau de proteção de luminárias	34
Tabela 5 - Fator de depreciação	34
Tabela 6 - Tarifa em R\$/kWh (Resolução ANEEL nº 1.897/2015)	43
Tabela 7 - Dimensão das grades de medição do cenário 1	48
Tabela 8 - Tráfego de veículos entre 18h - 21h.....	48
Tabela 9 - Dimensão das grades de medição do cenário 2	50
Tabela 10 - Dimensão das grades de medição do cenário 3	51
Tabela 11 - Dimensão das grades de medição do cenário 4	53
Tabela 12 - Resumo da carga instalada.....	53
Tabela 13 - Resumo tipo e quantidade de luminárias	53
Tabela 14 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 1	63
Tabela 15 - Níveis de iluminância cenário 1	63
Tabela 16 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 1	64
Tabela 17 - Resumo das soluções do cenário 1	64
Tabela 18 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 2	70
Tabela 19 - Níveis de iluminância cenário 2.....	70
Tabela 20 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 2	71
Tabela 21 - Resumo das soluções do cenário 2	71
Tabela 22 - Altura mínima de poda dos galhos, para o cenário 3 (distância longitudinal)	75
Tabela 23 - Altura mínima de poda dos galhos para o cenário 3 (distância transversal).....	75
Tabela 24 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 3	77
Tabela 25 - Níveis de iluminância cenário 3.....	77
Tabela 26 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 3	78
Tabela 27 - Resumo das soluções do cenário 3	78
Tabela 28 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 4	82
Tabela 29 - Níveis de iluminância cenário 4.....	82
Tabela 30 - Resumo da solução do cenário 4	82
Tabela 31 - Síntese dos cenários.....	83
Tabela 32 - Consumo diário e gasto anual em consumo de energia elétrica	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do tráfego motorizado e de pedestres.....	39
Quadro 2 - Iluminância média e fator de uniformidade conforme o volume de tráfego de veículos.	39
Quadro 3 - Iluminância média e fator de uniformidade conforme o volume de tráfego de pedestres.....	40

MALHAS DE MEDIÇÕES

Malha de medição 1 - Grade de medição cenário 1	56
Malha de medição 2 - Grade de medição cenário 2	66
Malha de medição 3 - Grade de medição cenário 3	73
Malha de medição 4 - Grade de medição cenário 4	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS E METAS.....	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	18
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	19
3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA	23
3.1 INTRODUÇÃO	23
3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE LUMINOTÉCNICA	25
3.2.1 Conceitos Básicos.....	25
3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	30
3.3.1 Tipos de Lâmpadas.....	30
3.3.2 Luminárias.....	33
3.3.3 Equipamentos Auxiliares	35
3.4 ASPECTOS NORMATIVOS PARA PROCEDIMENTOS EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	37
3.4.1 Classificação das Vias.....	37
3.4.2 Classificação do Tráfego	38
3.4.3 Condições Específicas de Iluminação.....	39
3.4.4 Condições Particulares.....	40
3.4.5 Malha de Verificação Detalhada.....	41
3.5 TARIFA E TRIBUTOS ASSOCIADAS AO CONSUMO DE ENERGIA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	42
4. ESTUDO DE CASO.....	44

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1.1 Materiais.....	45
4.2 CENÁRIOS.....	46
4.2.1 Mercado do Produtor.....	46
4.2.1.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação.....	47
4.2.2 Praça Anexa ao Complexo Cultural Raul Juglair Junior.....	48
4.2.2.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação.....	49
4.2.3 Praça Anexa à Prefeitura Municipal.....	50
4.2.3.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação.....	50
4.2.4 Avenida Tupi.....	51
4.2.4.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação.....	52
4.2.5 Síntese dos Dados.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1 CENÁRIO 1.....	54
5.1.1 Simulações Computacionais.....	56
5.1.1.1 Solução 1.....	59
5.1.1.2 Solução 2.....	61
5.1.1.3 Solução 3.....	62
5.1.2 Síntese dos Dados.....	63
5.2 CENÁRIO 2.....	65
5.2.1 Simulações Computacionais.....	67
5.2.1.1 Solução 1.....	68
5.2.1.2 Solução 2.....	69
5.2.2 Síntese dos Dados.....	70
5.3 CENÁRIO 3.....	72
5.3.1 Simulações Computacionais.....	74
5.3.1.1 Solução 1.....	75

5.3.1.2 Solução 2	76
5.3.2 Síntese dos Dados	77
5.4 CENÁRIO 4	79
5.4.1 Simulações Computacionais	80
5.4.1.1 Solução	81
5.4.2 Síntese dos Dados	82
5.5 SÍNTESE DOS CENÁRIOS.....	83
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE	93
ANEXOS	97

1. INTRODUÇÃO

A iluminação pública (IP) desempenha um papel fundamental para os centros urbanos, possibilitando à população usufruir plenamente do espaço público durante o período noturno. Ela implementa o desenvolvimento comercial e turístico, provê maior segurança à população atuando como inibidor de violência e contribui com a fluidez do trânsito de veículos e pedestres. Além disso, valoriza o ambiente das áreas urbanas, servindo como orientação nas vias e possibilita melhor aproveitamento das áreas de lazer, cooperando para o crescimento econômico e coletivo da população (SCHULZ, 2010, p. 9).

O consumo de energia elétrica referente ao setor de iluminação pública no Brasil foi de aproximadamente 14 TWh em 2014, com um aumento considerável de 3,9% em relação ao ano anterior, totalizando cerca de 3,0% do consumo total de energia elétrica do país. No mesmo ano, a contribuição do consumo em IP do subsistema elétrico sul, compreendido pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul foi de 16,5% em comparação com o resto do país, sendo o estado do Paraná responsável por 42,0% desta parcela, consumindo mais energia em IP que a região norte no mesmo setor (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015). Portanto, propostas para redução do consumo de energia elétrica em IP são relevantes, uma vez que podem trazer benefícios econômicos e ambientais.

Foi pensando em promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população, eficiência dos bens e serviços e reduzindo os impactos ambientais que, em 1985, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), financiado com recursos de entidades nacionais e internacionais, prevendo a atuação em diversos segmentos de consumo de energia elétrica, buscando reduzir os custos e investimentos setoriais (PROCEL; ELETROBRAS, 2015, p. 3).

No ano 2000, foi instituído pela Eletrobrás, com o apoio do Ministério de Minas e Energia, o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes, atualmente denominado PROCEL RELUZ, que conta com a participação das prefeituras e governos estaduais para o desenvolvimento de sistemas eficientes, bem como valorização dos espaços públicos urbanos (PROCEL INFO, 2015).

O contexto do Plano Nacional de Energia de Longo Prazo - PNE 2030, tem como objetivos apresentar oportunidades de uso eficiente de energia elétrica nos diversos setores da economia, descrevendo e analisando a experiência nacional e internacional das estratégias adotadas pelos governos, para o fomento à eficiência, considerando as projeções de demanda de longo prazo, potencial dos recursos energéticos, oferta de energia elétrica e evolução socioeconômica brasileira (POLIQUEZI, 2012, p. 10), (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007, p. 7).

Assim, este trabalho pretende apresentar formas para tornar a iluminação pública da cidade de Pato Branco mais eficiente, propondo ações de eficiência energética nas instalações de iluminação pública da cidade de Pato Branco, norteando-se no que é estipulado em norma para níveis adequados de iluminamento, sem prejudicar a utilização do espaço público no período noturno.

1.1 OBJETIVOS E METAS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor ações que contribuam de forma eficiente para a redução do consumo de energia elétrica na iluminação pública de Pato Branco – PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

Efetuar levantamento *in loco* de partes da instalação elétrica do sistema de iluminação pública da cidade de Pato Branco – PR, coletando informações dos equipamentos instalados atualmente, como potência e tipo das lâmpadas, potência dos reatores, tendo ênfase as redondezas do Mercado do Produtor, Centro Cultural Raul Juglair Junior, Praça anexa à Prefeitura Municipal e Avenida Tupi.

Propor ações para reduzir o consumo de energia elétrica, atendendo à norma que define os níveis de iluminação para iluminação pública ABNT NBR 5101.

Realizar medições em campo das malhas de verificação detalhada e efetuar simulações por meio do *software* DIALux[®] Evo para comprovação dos resultados.

Propor técnicas para reduzir a carga instalada da iluminação pública por meio de restrição do horário de funcionamento, e sugerir tipos de lâmpadas e equipamentos auxiliares adequados conforme o objetivo da iluminação.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho está dividida de forma a conduzir o leitor a um fácil entendimento sobre os conceitos necessários para a compreensão do tema abordado. A seguir é descrito resumidamente os capítulos que compõem o texto:

- **Capítulo 2:** São abordados os programas nacionais de conservação de energia elétrica que incentivam melhorias no setor de iluminação pública.
- **Capítulo 3:** É apresentando uma breve definição e conceitos sobre luminotécnica, descrição de equipamentos básicos constituintes de um sistema de iluminação público bem como aspectos normativos em IP.
- **Capítulo 4:** Apresentação dos cenários de estudo e a descrição dos materiais e métodos utilizados.
- **Capítulo 5:** Discussão dos resultados obtidos pelas medições em campo e das soluções propostas.

2. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 INTRODUÇÃO

A conservação de energia, de recursos e a preocupação com o meio ambiente são temas recorrentemente presentes nas discussões sobre desenvolvimento, qualidade de vida e competitividade das nações. Mas foi após a primeira crise de petróleo, em 1973, que o tema conservação de energia teve sua maior importância reconhecida na política econômica dos países, quando o preço do barril de petróleo e seus derivados começou a disparar (ANGELI, 2002, p. 7).

As consequências da crise energética afetaram os preços da geração de energia elétrica dos países que utilizavam usinas termelétricas a diesel, que constataram a necessidade de buscar fontes alternativas de geração. Embora a geração de energia elétrica no Brasil fosse predominantemente oriunda de usinas hidrelétricas, o país passava por outra crise: a econômica (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010).

Com o objetivo de evitar o agravamento dessa crise, e objetivando adiar investimentos no setor de energia elétrica, o governo federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985. Este programa visa reduzir o consumo de energia elétrica através de incentivo ao uso de tecnologias eficientes e adiar os altos custos de investimento do setor. Com o decorrer das décadas o programa evoluiu e expandiu suas atuações, contribuindo para o processo de conservação de energia elétrica (PROCEL INFO, 2015).

2.2 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A forma de energia mais empregada em processos de produção nos dias atuais é a energia elétrica. A Figura 1 apresenta o consumo de energia na indústria, onde a energia elétrica compreende 20,2% dos insumos energéticos utilizados. Nas residências, a energia elétrica é a forma de energia mais utilizada, chegando a 45,8% do consumo, como apresenta a Figura 2. A energia elétrica é essencial no cotidiano da população. É utilizada em prédios públicos e privados, parques, praças e avenidas, no acionamento de eletrodomésticos, sistemas eletrônicos de monitoramento e segurança, iluminação de ambientes internos e externos, proporcionando conforto e qualidade de vida aos cidadãos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015, p. 26-30).

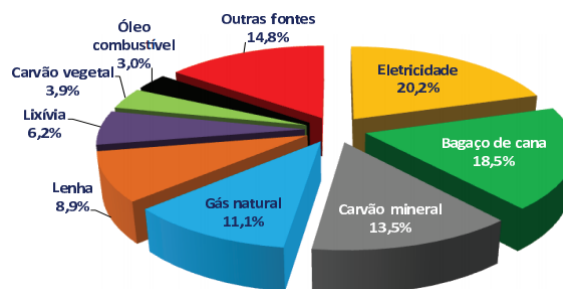


Figura 1 - Consumo de energia na indústria por fonte
Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

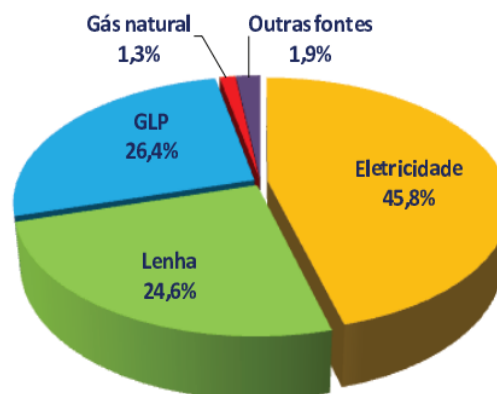


Figura 2 - Consumo de energia residencial
Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

Por ser disponível a partir de fontes primárias de energia renováveis e abundantes, como a energia cinética dos ventos ou a energia proveniente da radiação solar, e por ser possível transmiti-la por longas distâncias, a energia elétrica tem

grande preferência no mercado consumidor de energia. Assim, as ações que visam conservar energia elétrica são prioridade em todos os sistemas elétricos (MARQUES, 2006, p. 2-12).

As propostas de conservação de energia elétrica no âmbito técnico têm o objetivo de assegurar o uso eficiente de energia elétrica. Para alcançar este objetivo, deve-se empregar novas tecnologias e equipamentos mais eficientes, atentando-se às normas técnicas específicas. Dessa maneira, é possível atender à crescente demanda de energia elétrica, sem que seja necessário expandir a oferta na mesma proporção (MARQUES, 2006, p. 11).

No contexto social, os programas de conservação de energia têm o sentido de orientar o cidadão com informações pertinentes ao uso da energia elétrica de forma eficiente. É sugerido ao usuário adquirir equipamentos com melhor rendimento energético e, ainda, o consumidor é alertado sobre os custos elevados de geração de energia elétrica. Para que estes objetivos sejam alcançados, são criados programas que têm a finalidade de nortear as ações necessárias para a conservação de energia (PROCEL INFO, 2015).

Frente às sucessivas crises energéticas que tiveram início em 1971 e se estenderam durante as décadas seguintes, os países que possuíam geração de energia elétrica predominantemente a partir de usinas termelétricas a diesel foram fortemente afetados, bem como o setor de transportes motorizados. Desde então, governo e sociedade sentem a necessidade de conter os desperdícios de energia através da implementação de práticas que alcancem esse objetivo (FILHO, 2011, p. 552).

Foi em dezembro de 1985 que os Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio criaram o PROCEL, sendo gerido inicialmente por uma secretaria executiva subordinada à Eletrobrás. Em julho de 1991, o PROCEL foi adotado como programa de governo, expandindo sua abrangência. Atualmente, utiliza recurso da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão – RGR, e de fundos federais constituídos de recurso das concessionárias e outras entidades internacionais. O PROCEL tem como objetivo:

- Promover a conservação da energia, seja ela na geração ou na utilização final;

- Incentivar o uso de equipamentos e máquinas eficientes sem que se perca qualidade nos processos;
- Combater o desperdício de energia elétrica;
- Garantir a continuidade de fornecimento de energia;
- Aliviar a necessidade de investimentos imediatos no setor elétrico.

Considerando os resultados acumulados do PROCEL no período de 1986 a 2014, a economia total obtida foi de 80,6 bilhões de kWh e dentre os subprogramas que visam estimular o uso racional de energia e incentivo do uso de tecnologias eficientes, destacam-se o Selo Procel - Eficiência Energética em Equipamentos e o Procel Reluz – Eficiência Energética na Iluminação Pública, a qual, é a motivação deste trabalho (PROCEL INFO, 2015).

O selo e a etiqueta de eficiência energética PROCEL intenta orientar o consumidor no momento da aquisição de equipamentos elétricos ou eletrônicos, indicando quais máquinas e equipamentos apresentam melhores níveis de eficiência energética em cada categoria. O Selo PROCEL conta com a parceria do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, estimulando o desenvolvimento tecnológico e a comercialização de equipamentos eficientes e a preservação do meio ambiente (PROCEL INFO, 2015).

Para que um produto seja contemplado com o selo e a etiqueta, deve primeiro ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo PROCEL. Os parâmetros a serem avaliados para cada equipamento constam nos critérios específicos para concessão do selo PROCEL. A Figura 3 apresenta o selo e a etiqueta para uma determinada lâmpada, indicando o pior caso de eficiência energética nesse caso.



Figura 3 - Selo PROCEL
Fonte: Adaptada de (INMETRO, 2015).

Buscando uma melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação pública, a ELETROBRÁS instituiu o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes – RELUZ, com o apoio do Ministério de Minas e Energia. O RELUZ tem por objetivo promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública e sinalização semafórica, e tem como benefício a valorização noturna dos espaços urbanos, além de melhorar as condições de visibilidade noturna e contribuir com as condições de segurança pública.

O referido programa fornece manuais que auxiliam os órgãos competentes ao setor no cumprimento das etapas de obtenção de financiamento de projetos destinados a:

- Melhoria e expansão dos sistemas de IP existentes;
- Iluminação especial em obras e monumentos de valor histórico, ou em praças públicas de grande circulação de pedestres;
- Iluminação de áreas públicas esportivas;
- Inovação tecnológica na IP.

A ELETROBRÁS, através do PROCEL, subsidia até 75% do valor do projeto, restando apenas 25% do custo do projeto para o ente responsável (PROCEL INFO, 2015). A manutenção deste programa acarreta benefícios para o setor elétrico, concessionárias, municípios e sociedade, proporcionando subsídio para os projetos de melhorias, expansão e remodelagem dos sistemas de iluminação pública, buscando e propondo inovações tecnológicas no setor.

3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

3.1 INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, nos primórdios da civilização humana, onde o uso da iluminação natural foi crucial para a sobrevivência, as ações de caça, coleta e movimentação eram realizadas durante o dia enquanto a noite era destinada à permanência em abrigos para descanso e proteção. Com a descoberta do fogo, um fator preponderante para a ascensão da espécie, a possibilidade em utilizá-lo como meio de iluminação artificial trouxe muitos benefícios: a noite já não era mais tão perigosa e diminuía a necessidade de se esconder ou lutar, fazendo com que ficassem mais ativos, resultando em um maior tempo para poder pensar e refletir sobre o mundo em sua volta. Assim, a evolução permaneceu ligada diretamente à adaptação da utilização dos recursos de iluminação natural e artificial (BARROS; SOUZA, 2014 apud OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Rosito (2009), foi apenas no século XVIII, que a iluminação artificial começou a ser utilizada com finalidade destinada a ambientes públicos no Brasil. Tendo início na cidade de Rio de Janeiro – RJ, onde 100 luminárias a base de óleo de azeite foram espalhadas pelos postes da capital, em 1794, após reclamação da população devido ao crescente índice de criminalidade (ROSITO, 2009, p. 30; SANTANA, 2010, p. 24). Em 1830, foi determinado que as ruas da cidade de São Paulo - SP fossem equipadas com lampiões de óleo e azeite para iluminação das vias e, em 1873, a cidade contava com cerca de 700 lampiões a gás espalhados por suas ruas (DEPARTAMENTO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, 2015). Essa mudança no cenário, aprimorar a iluminação coletiva nas grandes cidades, começou gradativamente a interferir na rotina dos brasileiros que, a partir daquele momento, podiam desfrutar de um espaço público iluminado e seguro, permitindo melhor interação social entre as pessoas no período noturno.

A eletricidade foi introduzida no país em 1879 pelo imperador Dom Pedro II, mesmo ano em que Thomas Alva Edison construiu o que seria a primeira lâmpada elétrica (SANTANA, 2010, p. 25), utilizando um filamento de algodão parcialmente carbonizado, inserido no interior de um bulbo de vidro selado a vácuo, que por efeito

joule aquecia-se com a passagem da corrente elétrica até ficar incandescente. Começando assim uma nova era de modernidade (GOUVEA, 2006, p. 14).

Então em 1887, uma usina elétrica¹ entra em funcionamento na cidade de Porto Alegre – RS, sendo a primeira capital brasileira a desfrutar de um serviço público de iluminação elétrica. Posteriormente, o benefício dessa evolução ganhou espaço em outras capitais e demais cidades do país (ROSITO, 2009, p. 32). A invenção da lâmpada elétrica implicou um salto evolutivo, desde a utilização de lâmpadas incandescentes até os modernos LED (*Light Emissor Diode*), percebe-se a mudança no conceito do uso de iluminação em paralelo às necessidades de transformação e organização da sociedade.

A iluminação pública atua como um importante agente para a melhoria da utilização dos espaços públicos e da qualidade de vida da população em geral, atuando de forma positiva para o crescimento econômico e turístico. Porém, muitas cidades ainda possuem um precário e ineficiente sistema público de iluminação. Este capítulo tem como objetivo abordar conceitos básicos sobre luminotécnica, os principais equipamentos que constituem um sistema de iluminação pública e os aspectos normativos para o desenvolvimento de projetos eficientes.

¹ Usina Térmica da Companhia Fiat Lux, era constituída por uma máquina a vapor de 50 cv. Essa máquina acionava 3 dínamos (geradores de corrente contínua) e tinha capacidade para fornecer energia suficiente para atender uma carga de 800 lâmpadas do sistema desenvolvido anos antes por Thomas Alva Edison (ADIB, 2007).

3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE LUMINOTÉCNICA

Para melhor compreensão sobre os tópicos abordados ao longo deste trabalho, faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos sobre luminotécnica, abordados a seguir.

3.2.1 Conceitos Básicos

Fluxo Luminoso: Representa a quantidade de energia que uma dada fonte emissora de luz consegue radiar em todas as direções, de modo a ser detectada pelo olho humano e interpretada pelo cérebro como sensação luminosa (COPEL, 2012, p. 4). A unidade que descreve esta grandeza é conhecida como lúmen (lm), que pode ser interpretado como a quantidade de fluxo luminoso que atravessa uma área quadrada unitária situada na superfície de uma esfera de raio unitário, gerada por uma fonte pontual que emite luz isotropicamente², com intensidade de 1 candela (cd)³ (FILHO, 2011), como é possível observar na imagem A da Figura 4.

Iluminância: Conhecida como o nível de iluminação, expressa em (lux), corresponde ao fluxo luminoso incidente em uma determinada superfície em razão da área iluminada, como pode ser visto na Equação (1) e na imagem B da Figura 4 (FILHO, 2011). Assim, se uma determinada área S plana correspondente a 1m², iluminada por uma fonte emissora de luz igual a 1 lúmen, apresenta iluminância de 1 lux.

$$E = \frac{F}{S} \quad (1)$$

E = Iluminância (lux);

F = Fluxo luminoso (lm);

S = Área da superfície iluminada (m²).

² Com igual intensidade em todas as direções. Halliday et. al. (2009).

³ 1 cd corresponde a 12.56 lúmens. (FILHO, 2011).

Intensidade Luminosa: De acordo com a Equação (2), é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte em uma determinada direção por unidade de ângulo sólido⁴ (FILHO, 2011). Em outras palavras, pode ser interpretado como a concentração de luz emitida em uma direção específica. A unidade da intensidade luminosa no SI é o candela (cd), e sua representação pode ser vista na imagem C da Figura 4.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2)$$

I = Intensidade luminosa (cd);

Φ = Fluxo luminoso (lm);

Ω = Esferorradiano⁵ (sr).

Luminância: É a relação entre intensidade luminosa refletida por uma determinada área S, ou seja, é a sensação de claridade que uma superfície possa ocasionar através do reflexo, apresentada na imagem D da Figura 4. A Equação (3) descreve a luminância e sua unidade é expressa no SI como (cd/m²).

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\alpha)} \quad (3)$$

L = Luminância (cd/m²);

I = Intensidade luminosa (cd);

α = ângulo formado entre a normal da superfície e a direção do fluxo luminoso refletido.

⁴ Tomando como referência o vértice de um cone localizado em um ponto central de uma esfera, com base delimitada pela área interna S projetada na superfície da esfera, o ângulo sólido pode ser interpretado como o ângulo de abertura da superfície cônica em um plano bidimensional.

⁵ Equivale ao ângulo sólido formado por um cone, cuja área circular interna S projetada em uma superfície esférica seja 1m² e raio unitário. Sendo a unidade padrão no SI para quantificar ângulos sólidos.

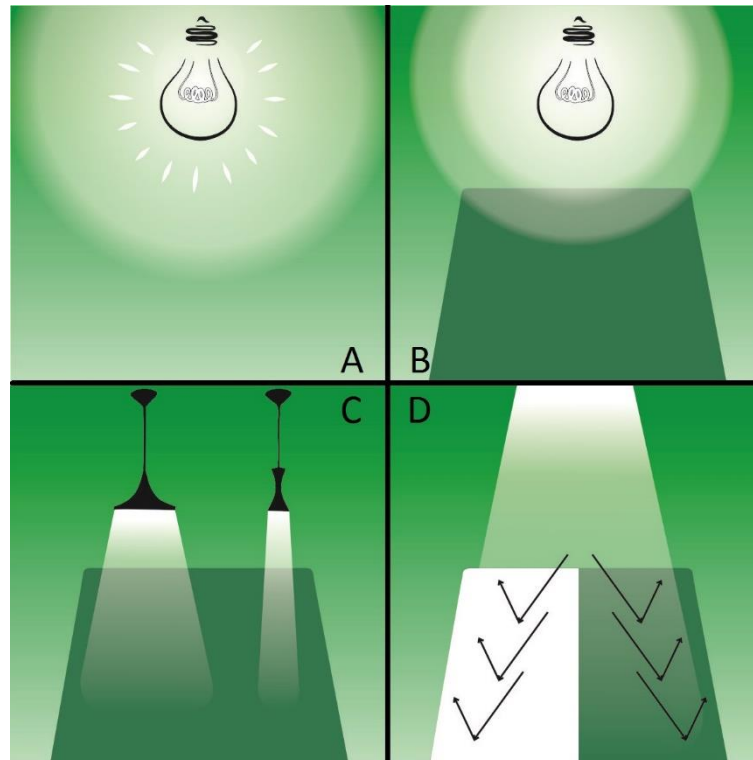


Figura 4 - Representação do fluxo luminoso, iluminância, intensidade luminosa e luminância em A, B, C e D respectivamente
FONTE: Adaptado de (LUMICENTER).

Curva Isolux: Derivado do latim (“iso” significa igual), e como já visto (lux representa a unidade de iluminância). Logo, isolux é o lugar geométrico dos pontos do plano que possuem a mesma característica. Através da análise dessas curvas, é possível identificar a quantidade e a qualidade dos níveis de iluminação. Geralmente as linhas que apresentam cores quentes representam os maiores níveis de iluminância no plano, e em contrapartida cores frias os menores níveis. Quanto maior a variação dos níveis de iluminância entre as curvas, menor é o fator de uniformidade (JESUS, 2012, p. 52).

Espectro Luminoso: De acordo com Halliday *et. al.* (2009) a luz é uma forma de energia radiante, que se propaga na forma de ondas eletromagnéticas com a maior velocidade⁶ conhecida e é devido a sua existência que a vida se torna possível. A luz visível, a qual o olho humano é sensível, faz parte de uma pequena parte do espectro eletromagnético em uma faixa de frequência com comprimento de onda λ como pode ser visto na Figura 5. A sensação da existência de cores está relacionada ao

⁶ Representada pela constante c , equivale a aproximadamente 300.000 km por segundo, utilizando o vácuo como meio de propagação.

comprimento de onda radiada por uma fonte luminosa ou superfície refletida, sendo que, cada valor de λ corresponde uma tonalidade de cor específica. A Tabela 1 exibe a relação entre o comprimento de onda λ e as cores do espectro de frequência.

Tabela 1 - Intervalo de comprimento de onda para cada cor

COR	COMPRIMENTO DE ONDA λ (nm)
Violeta	300 - 450
Anil	451 - 455
Azul	456 - 492
Verde	493 - 577
Amarelo	578 - 597
Alaranjado	598 - 622
Vermelho	623 - 700

Fonte: Adaptado de (VIRTUOUS, 2015).

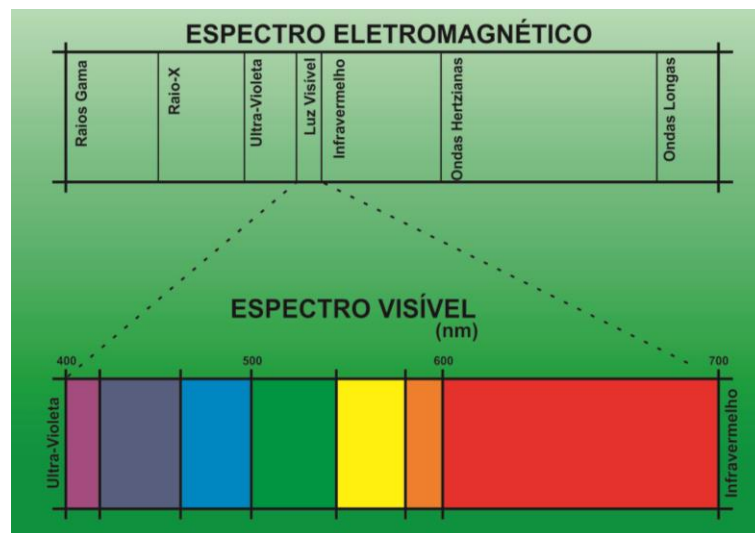


Figura 5 - Espectro eletromagnético
Fonte: Adaptado de (VIRTUOUS, 2015).

Temperatura de Cor: É uma escala medida em graus kelvin, e serve para expressar a qualidade da cor de uma fonte emissora de luz. De acordo com o manual de iluminação pública expedido pela COPEL, essa escala não correlaciona com o calor emitido pela fonte luminosa, e sim pela sensação de conforto luminoso provocado (COPEL, 2012, p. 5). Quanto mais elevado o valor da temperatura de cor, a luz emitida terá tons branco azulados, sendo conhecida como “cores frias” e quanto menor a temperatura de cor, sua tonalidade será mais próxima de um tom laranja avermelhado, sendo ditas "cores quentes". A Tabela 2, faz uma analogia entre a aparência de um mesmo ambiente iluminado por lâmpadas com temperaturas de cor distintas.

Tabela 2 - Temperatura de cor

Temperatura de cor (K)	Aparência	
<3300	Quente (branco alaranjado)	
De 3300 a 5000	Intermediária (branca)	
>5000	Fria (branco azulado)	

Fonte: Adaptado de (INDAL, 2011 apud COPEL, 2012).

Índice de Reprodução de Cores (IRC): Como visto anteriormente, a luz proveniente quer seja de fontes naturais ou artificiais, quando refletidas em uma determinada superfície, permite que o olho humano possa distinguir as cores do espectro de frequência para diferentes comprimentos de onda. O IRC é uma escala que quantifica a capacidade de uma fonte radiante de energia em apresentar as cores de um objeto iluminado quando percebidas por um observador (FILHO, 2011).

Em um dia ensolarado a capacidade do olho humano em distinguir as cores com fidelidade é maior (IRC de 100%), por isso, utiliza-se a luz solar como meio de comparação de rendimento cromático em relação as lâmpadas utilizadas em projetos luminotécnicos (ROSA, 2015). Para poder identificar o índice de cada lâmpada, basta consultar o catálogo de informações técnicas de cada fabricante.

Eficiência Luminosa: De acordo com a NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 9), a eficiência luminosa é a razão entre o fluxo luminoso emitido e a potência consumida pela fonte. É dada pela Equação (4):

$$\eta = \frac{\Phi}{P_c} \quad (4)$$

Onde,

η - Eficiência luminosa;

Φ - Fluxo luminoso emitido, em lumens;

P_c - Potência consumida, em Watts.

Fator de Uniformidade (U): De acordo com a Equação (5) é a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um plano especificado:

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} \quad (5)$$

Onde,

$E_{mín}$ - iluminância mínima;

$E_{méd}$ - iluminância média.

3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

3.3.1 Tipos de Lâmpadas

As lâmpadas de iluminação pública devem garantir níveis de iluminamento suficientes para tornar o tráfego seguro, melhorando a capacidade de orientação visual dos motoristas e pedestres, auxiliando a identificação de limites e obstáculos antecipadamente. Um ambiente público bem iluminado valoriza características arquitetônicas e paisagens, provê maior sensação de segurança, contribuindo ativamente na redução da criminalidade nas áreas urbanas. Para isso, sistemas antiquados de iluminação pública devem ser substituídos por tecnologias mais eficientes, visando a economia de energia e a redução de custos operacionais.

Fluorescentes: São constituídas por um vidro cilíndrico revestido internamente por uma camada de fósforo, possuindo também em seu interior argônio e mercúrio rarefeito. A produção de luz se dá através de uma descarga de elétrons que se chocam com os átomos de argônio e mercúrio, liberando uma certa quantidade de luz ultravioleta, ativando assim a camada de fósforo e se transformando em luz visível. (FILHO, 2011).

O uso dessas lâmpadas é mais comum em ambientes residenciais, porém, podem ser encontradas também em ambientes públicos como passeios cobertos, praças e até mesmo em estradas e túneis. Possuem fluxo luminoso que varia entre 1800 – 6600 lúmens, alta eficiência luminosa de até 66 lúmens por Watt, índice de reprodução de cores superior a 70 e aspecto luminoso de cores frias com tonalidade branca. Necessitam de dispositivos auxiliares como reatores para limitar o valor da corrente, ao contrário de como ocorre nas lâmpadas incandescente e mista, onde o próprio filamento de tungstênio limita a corrente (CREDER, 2007). Comercialmente são encontradas praticamente em dois (2) formatos, quais sejam, compacto e tubular (OSRAM, 2015).

Vapor Metálico: É um tipo especial de lâmpada a base de mercúrio, com iodetos de índio, tálio e sódio adicionados em sua composição (FILHO, 2011). Possuem fluxo luminoso que pode variar de 5100 - 34000 lúmens, apresentando uma elevada eficiência luminosa de até 90 lúmens por Watt, vida útil longa 6000 – 20000 horas, requer a utilização de equipamentos auxiliares como reatores e ignitores, e são encontradas nos formatos ovóide e tubular (PHILIPS, 2015). Utilizadas para aplicações em que se deseja uma boa reprodução de cores, como em pátios, estacionamentos, quadras de esporte e avenidas (CREDER, 2007).

Vapor de Sódio: As lâmpadas a vapor de sódio têm como característica uma luz monocromática com tonalidade amarela, possuem alta eficiência energética 90 – 141 lúmens por Watt, vida útil de operação elevada 16000 – 32000 horas, necessitam de equipamentos auxiliares como reatores e ignitores⁷ para o seu funcionamento. O tubo de descarga é constituído com vapor de sódio e uma mistura de gases inertes (xeônio e argônio) que são ionizados durante a partida da lâmpada, ocasionando a colisão

⁷ Dependendo do modelo da lâmpada e do fabricante, o uso de ignitor pode ser dispensado.

entre os elétrons livres, resultando na produção de luz (FILHO, 2011). São utilizadas em lugares onde não há necessidade de boa reprodução de cores, como na iluminação pública de praças e demais locais que priorizem a alta eficiência do sistema (ROSITO, 2009, p. 22).

LED: O crescente desenvolvimento dos diodos emissores de luz de alta potência, que convertem energia elétrica em radiação luminosa, através de componentes eletrônicos de estado sólido, transformou o LED numa tecnologia que mostra-se promissora e cada vez mais ganha espaço em ambientes para iluminação. O emprego do LED na IP tem como principal objetivo diminuir gastos com energia elétrica e reduzir gastos com manutenções, além de preservar os recursos ambientais (SAIDEL, *et al.*, 2013).

Possuem alta eficiência energética 80-134 lúmens por Watt, tempo de vida de aproximadamente 100000 horas, boa reprodução de cores e são uma alternativa para substituição das lâmpadas de vapor de sódio e vapor metálico. A Tabela 3 apresenta algumas características de cada lâmpada.

Tabela 3 - Características das lâmpadas

Características	Fluorescente Compacta	Vapor de Sódio.
Potência (W)	30 - 45 -60 - 85 - 105	100-150-250-400
Fluxo Luminoso (lm)	1800 - 6600	9000 -56500
Eficiência Energética (lm/W)	54 - 66	90 - 141
Vida (horas)	6000 - 10000	16000 - 32000
IRC	80	25
Temperatura de cor	6500	2000
Características	Vapor Metálico.	L.E.D.
Potência (W)	100 - 150 - 250 -400	45 -60 - 75 - 100 - 140
Fluxo Luminoso (lm)	5100 - 34000	6000 - 13000
Eficiência Energética (lm/W)	73 - 90	80 - 134
Vida (horas)	6000 - 20000	100000
IRC	65 - 92	70 - 75
Temperatura de cor	2900 - 5500	4000 - 4300

Fonte: Adaptado de (PHILIPS, 2015; OSRAM, 2015)

Descarte de Lâmpadas: As lâmpadas de descarga de alta pressão utilizadas na IP, contém elementos químicos considerados altamente prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, como é o caso do mercúrio (RELUZ, 2004). Este elemento é capaz de

causar danos ao sistema nervoso, e se descartado de maneira indevida, cedo ou tarde retornará ao meio ambiente, expondo organismos à sua contaminação (Dano, 2015).

Porém, lâmpadas apresentam risco de contaminação apenas se tiverem o tubo de descarga quebrado. Por isso, deve-se tomar cuidado com o seu manuseio e não devem ser depositadas em lugares inapropriados, devido à necessidade de tratamento de seus resíduos (RELUZ, 2004). Assim, as prefeituras devem armazenar de maneira adequada lâmpadas em desuso até que seja possível destina-las às empresas que possam efetuar a coleta, receptação, transporte e tratamento de resíduos (CETRIC, 2015).

3.3.2 Luminárias

As luminárias empregadas em sistema de iluminação pública têm a finalidade básica de fixação e abrigo da fonte luminosa e equipamentos auxiliares, quando possível. Intentam, também, permitir a distribuição do fluxo luminoso da fonte emissora de luz e possibilitar a sua operação em condições adequadas.

De maneira geral, as luminárias são compostas de um corpo metálico ou de liga metálica, base para fixação da lâmpada, suporte para fixação da luminária em poste ou estrutura, e invólucro para proteção dos equipamentos no interior da luminária. O responsável pela modificação do fluxo luminoso é o conjunto refletor e difusor, sendo que o refletor tem a finalidade de direcionar o fluxo luminoso produzido pela lâmpada, enquanto o difusor tem a função de reduzir a luminância e os efeitos desagradáveis do ofuscamento (FILHO, 2011).

As luminárias são classificadas de acordo com o grau de proteção proporcionado contra a entrada de corpos estranhos e umidade. A classificação é feita pelas letras "IP" (proteção internacional) seguidas de dois algarismos, que indicam o grau de proteção para cada caso (LUMICENTER, 2015). A Tabela 4 exhibe o tipo de proteção para cada algarismo.

Tabela 4 - Classificação do grau de proteção de luminárias

Proteção contra poeira		Proteção contra umidade	
Primeiro algarismo	Grau de proteção	Segundo algarismo	Grau de proteção
0	Sem proteção	0	Sem proteção
1	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50mm	1	Proteção contra gotejamento d'água
2	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12mm	2	Proteção contra gotejamento d'água quando inclinada acima de 15°
3	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5mm	3	Proteção contra água pulverizada
4	Proteção contra objetos sólidos maiores que 1,0mm	4	Proteção contra água borrifada
5	Proteção contra poeira	5	Proteção contra jatos d'água
6	Hermético	6	Proteção contra jatos d'água em alta pressão
-	-	7	Proteção contra efeitos de imersão
-	-	8	Proteção contra submersão

Fonte: Adaptado de (LUMICENTER).

Após um certo tempo de uso as luminárias acumulam poeira o que implica em uma redução do fluxo luminoso emitido. Este efeito também chamado de fator de depreciação, varia em função do tipo de ambiente e da frequência de limpeza (C.A.S, 2015). A Tabela 5 apresenta valores de depreciação para diferentes condições de limpeza do ambiente em que a luminária se encontra.

Tabela 5 - Fator de depreciação

Ambiente	Período de Manutenção		
	2.500 horas	5.000 horas	7.500 horas
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte: Adaptado de (C.A.S, 2015).

Na Figura 6 são apresentados os arranjos de luminárias frequentemente utilizados em montagem para iluminação viária. Outras configurações podem ser encontradas em *softwares* luminotécnicos ou por métodos encontrados na literatura

científica. Porém como este não é o foco do presente trabalho, apenas as topologias mais utilizadas são demonstradas.

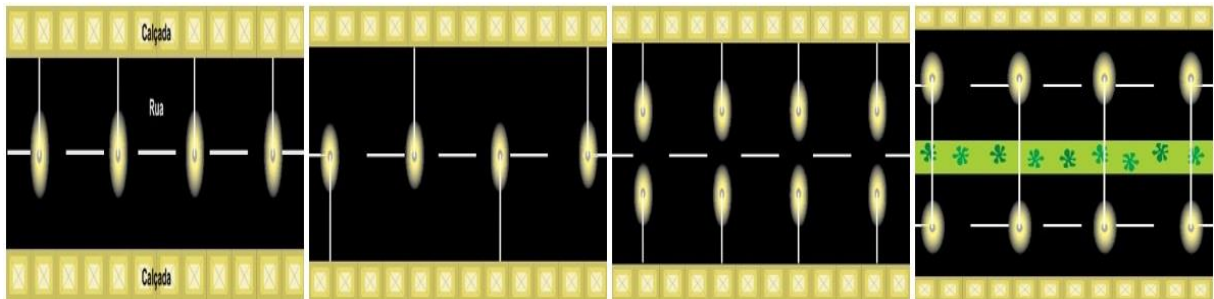


Figura 6 - Arranjo unilateral, bilateral oposto alternado, bilateral oposto e arranjo empregado em canteiros centrais, da esquerda para a direita, respectivamente
 Fonte: Adaptado de (COPEL, 2012).

3.3.3 Equipamentos Auxiliares

Os equipamentos auxiliares são utilizados para proporcionar a partida das lâmpadas de descarga afim de adequar o fluxo de corrente no circuito. Basicamente, são utilizados dois (2) equipamentos auxiliares de partida: reator e ignitor. Estes equipamentos permitem a conversão de um gás em um estado não condutor para um estado condutor, através do fornecimento de tensão com amplitude adequada para o acionamento da lâmpada. Por fim apresenta-se o relé fotoelétrico, equipamento que permite que o circuito da lâmpada seja ligado automaticamente ao pôr do sol e desligado ao anoitecer.

Reatores: O reator tem como finalidade produzir sobre tensão e limitar o fluxo de corrente, e é instalado em série no circuito da lâmpada de descarga. Nos sistemas de IP dois (2) tipos de reatores são comumente utilizados: os reatores eletromagnéticos e os reatores eletrônicos (CREDER, 2007, p. 47).

O reator eletromagnético é constituído basicamente por uma bobina enrolada sobre um núcleo de ferro, montado no interior de uma caixa metálica denominada carcaça, e é utilizado em lâmpadas de descarga. O equipamento opera com fator de potência entre 0,4 e 0,6 indutivo, mas pode ser melhorado, agregando-se um capacitor em paralelo, que poderá aumentar o fator de potência até 0,95. Podem ser reatores eletromagnéticos de partida convencional ou rápida, relacionando o tempo de acionamento da lâmpada (FILHO, 2011, p. 40-42).

Os reatores eletrônicos, por sua vez, são constituídos por três (3) blocos: fonte, inversor e circuito de partida e estabilização da lâmpada. Eles apresentam vantagens em relação aos reatores eletromagnéticos como elevado fator de potência e baixas perdas ôhmicas. Também podem ser classificados quanto ao tempo de acionamento da lâmpada em reatores eletrônicos de partida rápida ou instantânea (PHILIPS, 2015).

Deve-se observar as seguintes considerações para especificação e instalação dos reatores:

- O reator deve ser compatível com o tipo e a potência da lâmpada;
- O reator deve ser compatível com a tensão e frequência da rede de distribuição;
- O reator deve ser compatível com o local a ser instalado (interno ou externo à luminária).

Ignitor: Os ignitores são equipamentos utilizados no acionamento de lâmpadas vapor metálico e vapor de sódio de alta pressão, que necessitam em sua partida uma tensão superior que a tensão fornecida pela rede. Este dispositivo gera uma série de pulsos da ordem de 1 a 5 kV para iniciar a descarga da lâmpada. Eles são instalados juntamente com o reator, que também é responsável por gerar uma tensão elevada, porém, o nível de tensão exigido por essas lâmpadas só é alcançado com o uso do ignitor (FILHO, 2011, p. 42).

Relé fotoelétrico: O relé fotoelétrico é um dispositivo utilizado para realizar o acendimento e desligamento das lâmpadas de maneira automática de acordo com a luminosidade do ambiente. Pode ser utilizado para comandar o acendimento de uma única lâmpada ou de um grupo de lâmpadas, e a característica de funcionamento consiste na abertura ou fechamento do contato elétrico. Este equipamento apresenta um alto índice de falhas, podendo a lâmpada permanecer acionada durante o dia (falha de relé ligado) ou deixando de acionar durante a noite (falha de relé desligado). Estas falhas acarretam um consumo de energia elétrica desnecessário ou a ausência de iluminação no local, além do desgaste das lâmpadas e reatores (NOGUEIRA, 2013).

3.4 ASPECTOS NORMATIVOS PARA PROCEDIMENTOS EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os critérios estabelecidos na norma NBR 5101 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) são utilizados como base para elaboração e validação de projetos em iluminação pública. É necessário a compreensão de algumas condições gerais para que o projeto possa atender os parâmetros pré-estabelecidos. É importante salientar que o foco deste trabalho tem como objetivo a conservação e o uso eficiente de energia elétrica, sendo assim, os parâmetros propostos para atingir tais medidas no capítulo 5, consideram os valores mínimos dispostos em norma.

3.4.1 Classificação das Vias

O ponto inicial para projetos de iluminação pública é conhecer o tipo de via aonde o estudo deve ser realizado, identificando cada via pela característica de volume de tráfego e velocidade, aplicando assim os valores de iluminação previstos em norma para cada caso. Segundo Bruns (2009), via terrestre é o local onde trafegam veículos, pessoas e animais, compreendendo o espaço entre a calçada, acostamentos, pista de rolamento, ilhas e canteiros centrais. São divididas em vias rurais e urbanas.

Vias rurais: Conhecida como estradas de rodagem em que o tráfego nem sempre é exclusivamente motorizado, são divididas em rodovias e estradas.

Rodovias são vias pavimentadas, com ou sem acostamento, com tráfego motorizado e de pedestres. De acordo com Bruns (2009), a velocidade máxima neste tipo de via é:

- a) 110 km/h para automóveis, camionetes e motocicletas.
- b) 90 km/h para ônibus e micro-ônibus.
- c) 80 km/h para os demais veículos

Estradas são vias não pavimentadas, com ou sem acostamento, com tráfego motorizado e de pedestres, e o limite de velocidade para este tipo de via é 60 km/h.

Vias urbanas: São aquelas que apresentam tráfego motorizado e de pedestres, com a existência de construções às suas margens. Ruas, avenidas, vielas ou caminhos e similares abertos à circulação pública. São subdivididas em vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. As vias de trânsito rápido são caracterizadas pelo exclusivo tráfego motorizado, com pouca predominância de construções, não possuem semáforos nem travessia de pedestres em nível (diretamente sobre a pista de rolamento). Seu limite de velocidade é 80 km/h.

Vias arteriais ligam diferentes regiões de uma cidade, e são caracterizadas por cruzamentos ou intersecções geralmente controladas por semáforos. Seu limite de velocidade é 60 km/h. Já as coletoras destinam a coletar e distribuir o trânsito dentro das regiões da cidade e dar acesso as vias de trânsito rápido ou arteriais. Seu limite de velocidade é 40 km/h. Por último, as vias Locais são caracterizadas por cruzamentos geralmente sem semáforos, destinadas ao acesso local ou a áreas restritas. Seu limite de velocidade é 30 km/h.

3.4.2 Classificação do Tráfego

A classificação do volume de tráfego de pedestres e veículos que trafegam em uma via é uma condição que define como ela deve ser iluminada. Essa classificação pode ser distinta conforme é descrito no Quadro 1, podendo ser: leve, médio ou intenso de acordo com a quantidade de veículos e pedestres que circulam por ela. Para efetuar a classificação correta em que a via se encontra, é necessário realizar, por meio de observação, a contagem de veículos e pedestres que transitam na via nos períodos compreendidos entre 18 e 21 horas, o valor máximo das médias horárias definem sua classificação.

Classificação	Tráfego	
	Veículos	Pedestres
Leve (L)	Até 500	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	501 a 1200	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Acima de 1200	Como nas vias comerciais principais

Quadro 1 - Classificação do tráfego motorizado e de pedestres.

3.4.3 Condições Específicas de Iluminação

De um ponto de vista geral, projetos de iluminação pública visam melhorar a qualidade do trânsito nas vias, buscando proporcionar maior segurança aos automóveis e transeuntes, além de realçar paisagens e monumentos. O Quadro 2 apresenta as características das vias quanto ao volume de tráfego de veículos, enquanto o Quadro 3 apresenta as características de vias de uso predominante de pedestres, bem como o nível de iluminância média e o fator de uniformidade segundo a NBR 5101 para cada local.

Descrição da via	Volume de tráfego	Iluminância média mínima $E_{med,min}$ (lux)	Fator de Uniformidade $U=E_{min}/E_{med}$
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamento em nível e com acesso de trânsito rápido em geral; Auto-estradas	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	Intenso	20	0,3
	Médio	15	0,2
	Leve	10	0,2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2

Quadro 2 - Iluminância média e fator de uniformidade conforme o volume de tráfego de veículos.

Descrição da via	Volume de tráfego	Iluminância média Emín	Fator de Uniformidade U=Emín/Emed
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)	Intenso	20	0,3
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	Grande	10	0,25
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	Médio	5	0,2
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	Leve	3	0,2

Quadro 3 - Iluminância média e fator de uniformidade conforme o volume de tráfego de pedestres.

3.4.4 Condições Particulares

A norma NBR 5101 aborda algumas condições peculiares em instalações de IP, mas que contribuem para elaboração de um projeto mais eficiente, como orientações sobre poluição luminosa, compatibilidade da IP com a arborização e iluminação para áreas de pedestres.

Entende-se por poluição luminosa, o brilho noturno no céu acima das áreas de concentração urbana, que é provocada pela luz artificial mal direcionada de casas, prédios e demais instalações, refletida na poeira, vapor de água ou outras partículas suspensas na atmosfera. Luminárias com emissão de luz acima de seu eixo horizontal e projetos com níveis de iluminância superdimensionados são considerados fonte de poluição luminosa e devem ser evitados.

Para garantir a harmonia entre a iluminação artificial e a arborização das vias, parques e praças, a norma apresenta instruções úteis como a determinação da linha de poda das árvores em sistema de iluminação já existentes, o desenvolvimento de projetos de iluminação compatíveis para locais com arborização e a distância adequada para implantação de novas árvores em áreas com sistema de iluminação existente. Essas orientações auxiliam o setor de obras e engenharia na elaboração de projetos, e o setor de paisagismo na manutenção de locais com arborização.

De maneira geral, as praças, parques e calçadas podem ser considerados espaços públicos com predominância de pedestres. Nestes locais a iluminação deve

permitir no mínimo a orientação, o reconhecimento mútuo entre as pessoas, a segurança para o tráfego de pedestres e a identificação correta de obstáculos e mudanças de níveis.

3.4.5 Malha de Verificação Detalhada

Para medições de iluminância em procedimentos que exijam detalhamento, a norma NBR 5101 apresenta os passos de construção da malha para verificação detalhada. Os pontos de medição são definidos pelas interseções das linhas transversais e longitudinais à pista de rolamento e calçadas, entre as luminárias em consideração. Os espaçamentos entre os pontos de grade são apresentados na Figura 7, e definidos da seguinte forma:

- Espaçamento de grade longitudinal, Equação (6):

$$S_{gl} = \frac{S}{16} \leq 5m \quad (6)$$

Onde: S = espaçamento entre os postes em metros.

- Espaçamento de grade transversal, Equação (7):

$$S_{gt} = 0,2 * fr \leq 1m \quad (7)$$

Onde: fr = largura da faixa de rolamento em metros.

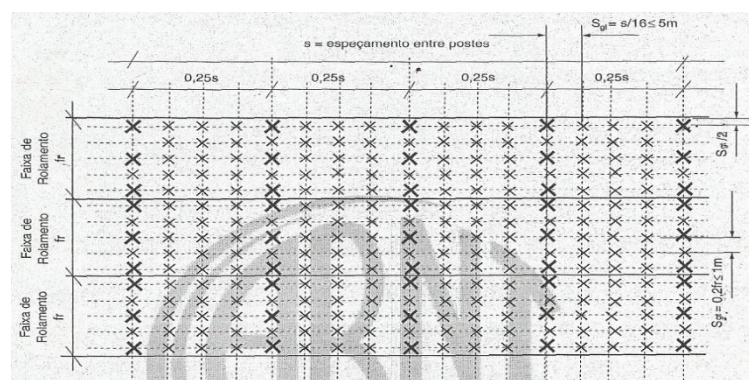


Figura 7 - Malha de medição.

3.5 TARIFA E TRIBUTOS ASSOCIADAS AO CONSUMO DE ENERGIA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A ANEEL, em sua resolução normativa 414/2010, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia. Estas condições garantem ao consumidor desembolsar um valor justo pela quantidade de energia elétrica consumida, e ao mesmo tempo asseguram o equilíbrio econômico-financeiro dos agentes comercializadores de energia elétrica. Dessa maneira os agentes podem disponibilizar um serviço de qualidade e contínuo.

O valor determinado pela ANEEL contempla os custos relativos ao faturamento horário de energia elétrica dos consumidores. Este valor é composto pela Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Além do valor determinado pela ANEEL, outras contribuições previstas em Lei compõem a tarifa de energia elétrica. Os encargos e tributos federais são o Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). O tributo estadual associado é o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

Para cobrir os custos reais de geração de energia elétrica, a ANEEL estabeleceu o sistema de bandeiras tarifárias, que entrou em vigência no ano de 2015 e se aplica a todas as distribuidoras de energia do Sistema Interligado Nacional – SIN. O sistema de bandeiras tarifárias tem a finalidade de incrementar o valor do quilowatt-hora (kWh) em função do custo extra da geração de energia. As bandeiras podem assumir as cores verde, amarela e vermelha. A bandeira tarifária verde indica nenhum aumento no custo do quilowatt-hora, a bandeira tarifária amarela sinaliza um acréscimo de R\$ 0,025 no custo do quilowatt-hora, e a bandeira tarifária vermelha indica um aumento de R\$ 0,045 no custo do quilowatt-hora. A ANEEL publica mensalmente qual será a bandeira tarifária do mês seguinte, com base em informações prestadas pelo Operador Nacional do Sistema - ONS.

A tarifa para iluminação pública encontra-se no grupo B-4, e está dividida em dois (2) subgrupos. Para o subgrupo B-4a, a tarifa é relativa ao consumo a partir a rede de distribuição da concessionária, considerando-se a potência de perdas nos equipamentos auxiliares e lâmpadas. No caso do subgrupo B-4b, a tarifa refere-se ao

consumo apenas no bulbo da lâmpada, desconsiderando as perdas nos equipamentos auxiliares.

A Companhia Paranaense de Energia – COPEL disponibiliza em sua página da *web* o custo da tarifa em R\$/kWh com e sem a tributação, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Tarifa em R\$/kWh (Resolução ANEEL nº 1.897/2015)

SUBGRUPO B-4	RESOLUÇÃO ANEEL	COM IMPOSTOS (ICMS/PIS/COFINS)
B-4a	0,27077	0,41026
B-4b	0,29539	0,44756

Vigência em 24/06/2015

Fonte: Adaptado de (COPEL, 2015).

Na cidade de Pato Branco – PR, o município é o responsável pelo projeto, implementação, ampliação e manutenção do sistema de iluminação pública. O consumo de energia elétrica do sistema de iluminação é estimado através da carga instalada, e em alguns trechos há medidores de energia. Para custear os gastos com o sistema de iluminação pública, o município instituiu a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), que determina o valor da contribuição de acordo com a classe do consumidor e o consumo mensal. Esta contribuição é inclusa na fatura de energia de cada consumidor, sem alterar o valor da tarifa do quilowatt-hora da concessionária.

Conforme o artigo 24 da resolução 414/2010 da ANEEL, a tarifa aplicável ao fornecimento de energia elétrica para iluminação pública é a Tarifa B4a, e horário de consumo diário de 11 horas e 52 minutos, exceto em locais onde é necessária iluminação 24 horas. Para quantificar o gasto monetário do consumo de energia elétrica na iluminação pública, será adotado o valor do quilowatt-hora (kWh) estipulado pela concessionária e horário de funcionamento de 12 horas.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso realizado tem como finalidade propor a redução do consumo de energia elétrica. A redução proposta ocorre no sistema de iluminação pública da cidade de Pato Branco. Dividido em cenários, os locais observados com possíveis melhorias são o Mercado do Produtor, a Praça anexa ao Centro Cultural Raul Juglair Junior, a Praça da Prefeitura Municipal e a Avenida Tupi.

Será realizado uma comparação com os equipamentos instalados atualmente no sistema de IP da cidade em relação a algumas tecnologias aplicáveis disponíveis, de forma a reduzir a carga instalada, visando a redução do consumo de energia elétrica. A constatação é realizada através de medições luminotécnicas em campo e por meio de simulações computacionais para verificar e atender os requisitos mínimos de iluminação previstos na NBR 5101.

As malhas de medições presentes ao longo deste trabalho, basearam-se nas regras dispostas no subcapítulo 3.4.5 e foram elaboradas com a finalidade de facilitar a visualização dos pontos de iluminância horizontal dos locais de estudo. Utilizando o *software* Microsoft Excel®, foi realizado uma formatação condicional com uma regra de escala de cores com base nos valores de cada ponto medido, aonde as tonalidades de cor branca representam os maiores níveis de iluminância, enquanto as mais escuras correspondem os menores níveis de iluminância do local. Logo, esses valores representam a quantidade de luz que incide no solo em um plano horizontal e não se deve confundir estes resultados com as características de luminância, como descritos na subseção 3.2.1.

Foi realizada uma convenção para a apresentação da matriz da grade de medição, portanto, quando forem apresentadas as letras (L e T) subscritas, se referem as linhas longitudinais e as colunas transversais, a via respectivamente. Todas as medições foram executadas em um plano horizontal ao nível do chão da via com a utilização de luxímetro⁸.

8 Instrumento capaz de medir iluminância (lux) por meio de efeito fotoelétrico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Com a utilização do *software* de cálculo luminotécnico DIALux® Evo, foram realizadas simulações computacionais para constatação dos resultados medidos em campo e das sugestões propostas para melhoria dos cenários de estudo, apresentados adiante no capítulo 5.

4.1.1 Materiais

Equipamentos utilizados para realizar as medições em campo:

- Fita métrica e trena;
- Luxímetro TENMARS, modelo TM-202, número de patrimônio (131153), disponibilizado pelo curso de Engenharia Elétrica da UTFPR-PB.



Figura 8 - Equipamentos utilizados em campo: Fita métrica, trena métrica e luxímetro (TENMARS).

4.2 CENÁRIOS

4.2.1 Mercado do Produtor

O mercado do produtor está situado na área central da cidade, em um pequeno trecho da rua Goianases, como pode ser visto na Figura 9. O espaço tem a finalidade de incentivar a produção e comercialização de produtos da agricultura familiar. Todas as quartas-feiras e sábados pela manhã, acontece a feira do produtor, onde hortifrutigranjeiros disponibilizam diversos produtos aos consumidores, como frutas, verduras, legumes, embutidos, peixes, artesanato, entre outros. O ambiente contém do lado esquerdo da via os boxes destinados aos produtores para comercialização dos produtos, bancos, lixeiras, árvores e canteiros. O passeio do lado direito é composto pelos postes da concessionária, placas de sinalização, lixeiras e arborização.

Durante eventos como o Natal de Pato Branco, o Mercado do Produtor dá espaço a uma praça de alimentação instalada temporariamente, recebendo também atenção decorativa. Por estar localizado em uma região central, contendo em suas proximidades colégios, salas comerciais, centros médicos e a igreja Matriz São Pedro Apóstolo, o tráfego de pedestres e veículos motorizados ao longo do dia é contínuo. Sendo assim, este local deve possuir iluminação adequada para garantir a segurança e fluidez do tráfego local.

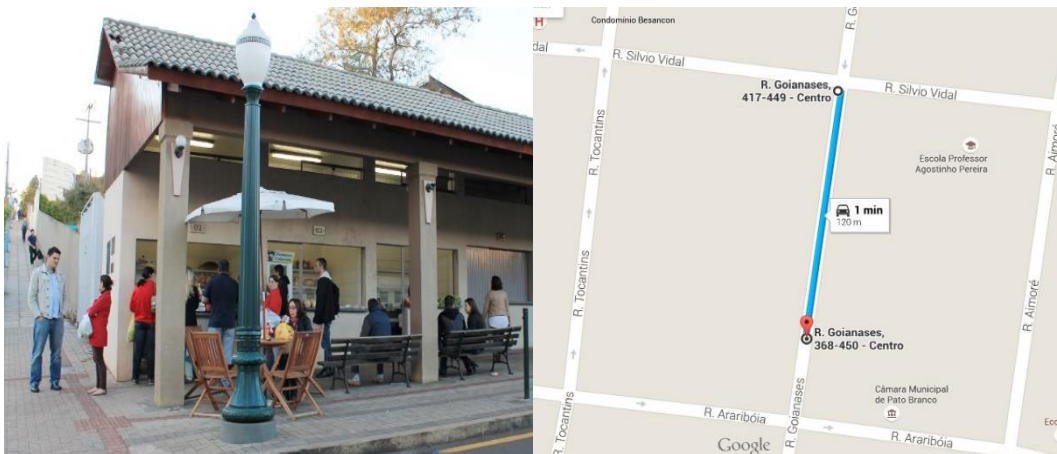


Figura 9 - Mercado do produtor. Vista da via e localização no mapa
Fonte: Adaptado de Google Maps (2015).

4.2.1.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação

A iluminação pública no local é composta por dezoito (18) luminárias dispostas ao longo da via de pedestres (nove (9) em cada lado), em um arranjo bilateral oposto. São estruturas ornamentais do tipo republicano⁹ de um (1) globo em polietileno leitoso, espaçadas longitudinalmente de 17,0 a 21,0 metros. As luminárias são equipadas com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão 250 Watts/220 Volts, fluxo luminoso de 32200 lúmens e um (1) reator¹⁰ compatível com 30 Watts de perda cada. O local também possui quarenta (40) arandelas do tipo globo de vidro leitoso, fixadas e distribuídas em pares, na parte superior dos pilares da infraestrutura do mercado do produtor. São orientadas uma para a via de tráfego motorizada e a outra para os boxes de comércio, cada uma abrigando uma única lâmpada fluorescente compacta branca de 11 Watts/220 Volts e fluxo luminoso 594 lúmens.

A fim de identificar e classificar corretamente a via em que se enquadra a rua Goianases conforme o Quadro 1, foi realizado a observação e contagem de veículos que trafegaram na via entre as 18h e 21h. A Tabela 8 exibe a quantidade do tráfego motorizado em intervalos de 60 minutos realizado no dia 10/07/2015. Nesta mesma etapa foi definido a área para medição da iluminância horizontal, estabelecida entre o conjunto da terceira e quarta luminária do tipo republicano a partir do cruzamento entre as ruas Goianases e Dr. Sílvio Vidal.

Para definir os pontos que constituem a matriz da grade de medição, foi preciso obter através de fita métrica, o espaçamento longitudinal S_L entre as luminárias designadas, a largura da faixa de rolamento de veículos $FR_{(V)}$ e via de pedestres $VP_{(1)}$ e $VP_{(2)}$. Com posse dos dados das cotas da via, os pontos da grade de medição foram calculados e devidamente marcados, em um plano horizontal ao nível do chão, conforme estabelece a NBR 5101. A Tabela 7 exibe resumidamente as dimensões das grades para um $S_L = 17,15$ metros aplicado ao cenário 1:

⁹ Altura das estruturas indicada na Tabela 13.

¹⁰ Capacitor e ignitor anexados ao reator, $FP=0,92$.

Tabela 7 - Dimensão das grades de medição do cenário 1

Largura da via (m)	Sg _L (m)	Sg _T (m)	Grade	Pontos de Grade
FR _(V) = 7,0	1,07	1,0	(17 _L x 7 _T)	119
VP ₍₁₎ = 5,0	1,07	1,0	(17 _L x 5 _T)	85
VP ₍₂₎ = 3,1	1,07	0,78	(17 _L x 4 _T)	68

A grade de medição deste cenário foi composta por uma matriz (17 x 16) totalizando duzentos e setenta e dois (272) pontos de medição, como pode ser visto na Figura 15.

Tabela 8 - Tráfego de veículos entre 18h - 21h

Horário	Veículos
18h:00min - 19h:00min	593
19h:00min - 20h:00min	460
20h:00min - 21h:00min	301
Total	1.354

4.2.2 Praça Anexa ao Complexo Cultural Raul Juglair Junior

O complexo cultural situa-se no cruzamento entre a rua Jaciretã e Itapuã, no bairro Parzianello. Nele estão abrigados o departamento de cultura municipal, a biblioteca municipal professora Helena Braun, salas que disponibilizam o espaço para atividades como leitura e aulas de dança, além do teatro municipal Naura Rigon. O ambiente propicia acesso à cultura para a comunidade, que pode desfrutar de espetáculos e shows de âmbito local e nacional com conforto e qualidade. O local possui em seu entorno uma praça com bancos, monumento artístico, academia ao ar livre e canteiros de plantas, como pode-se observar na Figura 10.



Figura 10 - Centro cultural Raul Juglair Junior
Fonte: Adaptado de Google Maps (2015).

4.2.2.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação

O sistema de iluminação é composto por seis (6) estruturas do tipo republicano de dois (2) globos, em um arranjo unilateral, distribuídos no entorno do passeio de pedestres. A distância entre as estruturas varia de 14,0 a 30,0 metros. Há uma estrutura de cinco (5) globos, instalada na parte central da praça e três (3) luminárias de alumínio dispostas nas proximidades da academia. Os postes são equipados com lâmpadas de vapor de sódio de 250 Watts/220 Volts de alta pressão e reatores compatíveis.

Examinando-se o presente cenário, foram eleitos dois (2) trechos para realizar as medições no passeio onde estão instaladas as luminárias. O primeiro segmento $VP_{(1)}$, situa-se adjacente a rua Itapuã e o segundo $VP_{(2)}$ é voltado para a rua Jaciretã. Em ambos os casos as luminárias são utilizadas para iluminação da praça bem como da via.

Foi optado por realizar o estudo no primeiro segmento do passeio, devido às condições precárias de limpeza que os globos das luminárias encontravam-se, além da presença de uma luminária com defeito (lâmpada apagada). Como meio de comparação, foi escolhido o segundo trecho de estudo, aonde as luminárias estavam em boas condições de conservação. A topologia da grade de medição obteve a seguinte configuração para um $S_{L1} = 14,0$ metros e $S_{L2} = 23,0$ metros:

Tabela 9 - Dimensão das grades de medição do cenário 2

Largura da via (m)	Sg _L (m)	Sg _T (m)	Grade	Pontos de Grade
VP ₍₁₎ = 4,0	0,88	0,80	(17 _L x 5 _T)	85
VP ₍₂₎ = 3,94	1,44	0,79	(17 _L x 5 _T)	85

Para o cenário descrito, as grades de medições para cada trecho, são constituídas por uma matriz de (17 x 5), totalizando cento e setenta (170) pontos medidos, como pode ser visto na Figura 24 e Figura 25.

4.2.3 Praça Anexa à Prefeitura Municipal

A Prefeitura Municipal de Pato Branco situa-se na rua Caramuru, 271 – Centro. Além de ser um prédio público, sede do poder executivo municipal, tem anexo a ela uma praça, provida de academia de terceira idade a céu aberto, bancos, canteiro de grama e arborização, além de iluminação elétrica pública. As ruas Pedro Ramires de Melo, Araribóia e Caramuru contornam a prefeitura e a praça, como mostra a Figura 11.

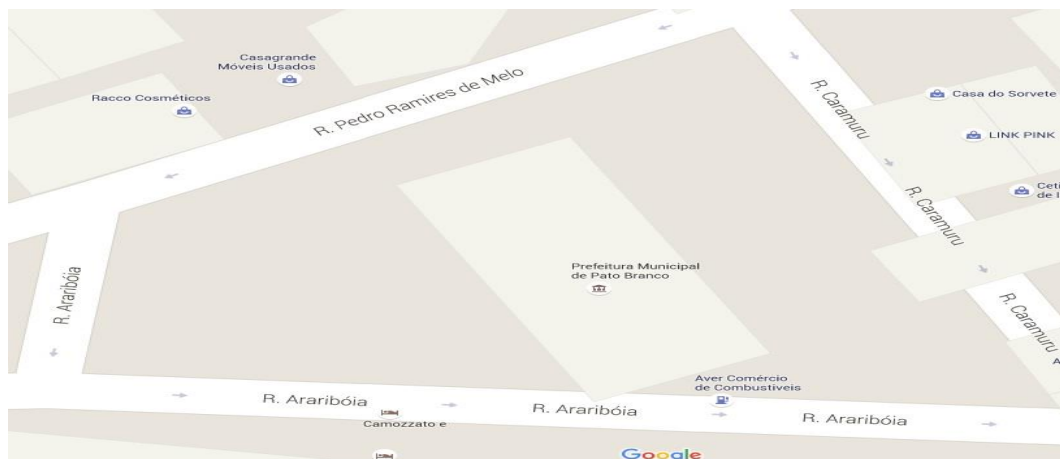


Figura 11 - Localização prefeitura municipal de Pato Branco
 Fonte: Adaptado de Google Maps (2015).

4.2.3.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação

O sistema de iluminação é composto de vinte (20) estruturas do tipo republicano, para iluminação. São dezessete (17) estruturas com um (1), e três (3) estruturas com dois (2) globos, respectivamente. Encontram-se afastadas de 10 a 21

metros. As luminárias estão equipadas com lâmpadas do tipo vapor de sódio 250 Watts/220 Volts, e abrigam os reatores internamente.

Para este cenário também foram escolhidos dois trechos do passeio público para inspeção dos níveis de iluminância. O primeiro segmento $VP_{(1)}$ é localizado adjacente a rua Araribóia, onde foi identificado incompatibilidade da arborização com a iluminação. O segundo trecho $VP_{(2)}$, atravessa a praça ligando a rua Pedro Ramires de Melo à Araribóia, e este local foi escolhido para constatar os níveis de iluminância, considerando toda a extensão do passeio e luminárias existentes.

Como será visto no capítulo 5, as simulações deste cenário foram realizadas apenas para o primeiro trecho. A disposição da grade de medição obteve as seguintes dimensões para um $S_{L1} = 12,45$ metros e $S_{L2} = 29,0$ metros. A Figura 33 mostra os pontos de medição para $VP_{(1)}$.

Tabela 10 - Dimensão das grades de medição do cenário 3

Largura da via (m)	Sg _L (m)	Sg _T (m)	Grade	Pontos de Grade
$VP_{(1)} = 3,6$	0,78	0,90	(17 _L x 3 _T) e (12 _L x 1 _T)	63
$VP_{(2)} = 2,28$	1,81	0,76	(17 _L x 3 _T)	51

Para o cenário descrito, a grade de medição para $VP_{(1)}$ foi constituída por duas matrizes de (17_L x 3_T) e (12_L x 1_T), e para $VP_{(2)}$ uma matriz de (17_L x 3_T), totalizando 114 pontos medidos, como pode ser visto na Figura 33.

4.2.4 Avenida Tupi

Avenida Tupi possui aproximadamente 8 km de extensão, e é delimitada pelo trajeto azul, imagem ao lado esquerdo na Figura 12. A via divide a cidade e liga os extremos Norte – Sul. É a via de principal acesso de entrada e saída do perímetro urbano, ao longo do seu trajeto em suas margens na região central, possui predominância de salas comerciais. O estudo de caso neste cenário foi realizado no trecho da avenida aonde existe o canteiro central da via, imagem ao lado direito da mesma figura.

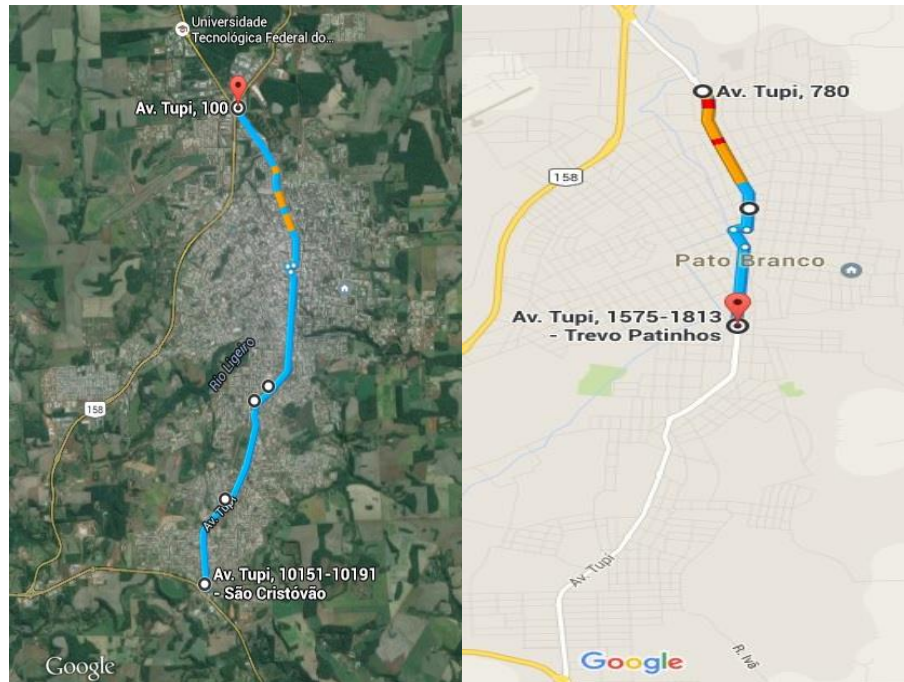


Figura 12 - Extensão Avenida Tupi e área de estudo
Fonte: Adaptado de (Google Maps, 2015).

4.2.4.1 Equipamentos que compõem o sistema de iluminação

O canteiro central da avenida Tupi possui setenta e cinco (75) estruturas do tipo ornamental republicano. O espaçamento entre as estruturas varia de 15 a 30 metros, conforme as situações aonde se encontram. São equipadas com dois (2) globos, existindo ainda, uma estrutura com cinco (5) globos, localizada em uma das rotatórias presente ao longo do percurso do canteiro central. Todas luminárias são equipadas com lâmpadas de vapor metálico de alta pressão, com potência de 250 Watts/ 220 Volts.

A área para medição da iluminância horizontal, foi estabelecida entre a primeira e segunda luminária do tipo republicano, a partir do cruzamento entre a rua Itacolomi e a Avenida Tupi, sentido norte-sul. As cotas da via foram coletadas através de medições com fita métrica. Obteve-se o espaçamento (S_L) entre as luminárias dispostas no canteiro central da avenida, a largura da $VP_{(1)}$, $FR_{(V1)}$, $FR_{(V2)}$ e $VP_{(2)}$. Os pontos de medições foram calculados e marcados sobre a via, conforme estabelece a NBR 5101. A topologia da grade de medição teve a seguinte configuração para um $S_L = 32,0$ metros:

Tabela 11 - Dimensão das grades de medição do cenário 4

Largura da via (m)	Sg _L (m)	Sg _T (m)	Grade	Pontos de Grade
VP ₍₁₎ = 4,10	2,00	0,82	(17L x 5T)	85
FR _(V1) = 7,68	2,00	0,96	(17L x 8T)	136
FR _(V2) = 5,88	2,00	0,98	(17L x 6T)	102
VP ₍₂₎ = 5,52	2,00	0,92	(17L x 6T)	102

A grade de medição deste cenário foi composta por 425 pontos de medição, e o seu detalhamento pode ser visto na Figura 38.

4.2.5 Síntese dos Dados

Tabela 12 - Resumo da carga instalada

Cenário	Tipo de Lâmpada	Quantidade	Potência Lâmpada + Perda Reator (W)	Carga Instalada (W)
1	Vapor de Sódio	18	250 + 30	5480
	Fluo. Compacta	40	11	
2	Vapor de Sódio	20	250 + 30	5600
3	Vapor de Sódio	23	250 + 30	6440
4	Vapor Metálico	155	250 + 30	74200
	Vapor de Sódio	110	250 + 30	
Total				91720

Tabela 13 - Resumo tipo e quantidade de luminárias

Luminárias	Ornamental Republicano			Arandela	Alumínio
	Nº de Globos				
	1	2	5		
	Altura (m)				
	3,2	4,2	5,0		
Cenário	Quantidade				
1	18	-	-	40	-
2	-	6	1	-	3
3	17	3	-	-	-
4	-	75	1	-	110
Total	35	84	2	40	113

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as discussões sobre as medições citadas no capítulo 4 e os respectivos resultados, bem como as soluções aplicáveis para cada cenário, através das simulações computacionais realizadas.

5.1 CENÁRIO 1

No dia em que foi realizado as medições pode-se constatar defeitos no sistema de iluminação local. A imagem (A e C) da Figura 13 apresentam luminárias com defeito de lâmpada apagada. A imagem (B) demonstra uma luminária com o seu globo refletor parcialmente obstruído devido a presença de uma árvore em sua proximidade e a poluição luminosa gerada pelas atuais luminárias. Já a imagem (D) apresenta a mesma luminária presente na imagem (C), que foi flagrada semanas antes com o seu globo refletor danificado pela existência de uma árvore em sua volta.



Figura 13 - Luminárias apresentando defeito no cenário 1

Como já mencionado anteriormente, as medições foram realizadas entre o terceiro e o quarto par de luminárias, dispostos a partir do mercado do produtor no sentido de fluxo de veículos da via. O conjunto das quatro luminárias estavam funcionando em boas condições. Os dados coletados com o uso do luxímetro são apresentados na Malha de medição 1, que contempla toda a extensão transversal da via entre as luminárias.

Através da análise da malha de medição, é possível identificar os pontos aonde o luxímetro obteve maior leitura de iluminância e a região próxima aonde as luminárias se encontram. Os pontos mais distantes das luminárias apresentam menores valores, e conseqüentemente são representados pelos pontos escuros na região central da malha. Essa região coincide com o ponto médio entre as estruturas de iluminação.

Em alguns pontos sobre o chão, a incidência de luz é obstruída pela existência de pilares na estrutura física do mercado. Estes são alinhados transversalmente com o arranjo de luminárias e projetam sombra sobre alguns pontos medidos. Os pontos mencionados são visíveis nos extremos laterais da $VP_{(1)}$ no canto superior. Existem ainda, distribuídos pelos dois lados do passeio de pedestres outros objetos que desempenham o mesmo papel, como lixeiras, canteiros elevados, placas e bancos. Justificando assim, os demais pontos com menor leitura de iluminância obtida sobre as vias de pedestres $VP_{(1)}$ e $VP_{(2)}$.

Para poder identificar se os dados obtidos com as medições deste cenário estão de acordo com os valores previstos na NBR 5101, a via de veículos foi classificada com volume de tráfego motorizado médio pelo Quadro 1, de acordo com o método de observação e contagem dos veículos que transitaram a via, exibido na Tabela 8. Desta forma, o Quadro 2 descreve que vias coletoras de volume de tráfego médio, devem possuir iluminância média mínima $E_{méd,min}$ de 15 lux e fator de uniformidade mínimo U de 0,2.

O volume de tráfego de pedestres foi classificado como médio para vias comerciais secundárias, como indica o Quadro 1. O Quadro 3 define que, a iluminância média $E_{méd}$ deve ser de 5 lux com fator de uniformidade U de 0,2 para esta classificação. As condições específicas de iluminância e fator de uniformidade atuais, foram calculadas com os dados coletados da Malha de medição 1, e esses valores podem ser observados diretamente na Tabela 15 para cada via, resumidamente.

Analisando os dados da malha de medição foi possível constatar que o sistema atual atende os requisitos de $E_{méd}$ em todas as três (3) vias. A menor leitura foi de 3,6 lux, realizada na $VP_{(1)}$, exatamente no lugar aonde um pilar projeta sombra sobre os pontos da linha transversal, que coincide com a estruturas das luminárias. Contudo, o fator de uniformidade U , não foi atendido apenas para $VP_{(1)}$, estando 30% abaixo do mínimo previsto em norma, devido a diferença de sete (7) vezes entre $E_{mín}$ e $E_{méd}$.

Considerando as características das luminárias ornamentais, que não distribuem o fluxo luminoso em apenas uma direção, iluminando acima do eixo horizontal, e mesmo assim atendem os requisitos de $E_{méd}$ e $E_{mín}$ em todas as vias. É possível concluir que o sistema consta com uma quantia de lâmpadas ou potência superior à qual seria necessário, para atender os mínimos valores normativos de iluminância. Justificando assim, a possibilidade em redimensionar o sistema de iluminação.

Via de Pedestres 1 - VP₍₁₎

3,6	24,9	21,8	21,8	19,4	14,6	13,3	11,1	5,2	9,2	16,2	16,3	21,1	24,8	24,9	27,2	4,1
4,0	32,6	31,1	27,4	22,4	17,8	7,0	14,9	11,8	14,2	4,5	17,7	22,5	30,3	33,9	39,0	3,9
42,0	43,0	39,8	34,8	25,3	22,5	19,5	13,8	14,0	15,3	17,5	22,4	29,8	36,8	44,0	49,8	49,0
39,4	45,8	45,5	38,1	31,3	24,2	19,8	16,5	16,0	18,0	18,9	22,7	29,3	40,1	47,0	52,2	46,8
39,2	42,4	47,0	38,0	28,5	14,5	17,1	15,6	13,9	9,1	9,7	8,3	8,6	25,3	46,9	49,8	42,8

Faixa de Rolamento de Veículos - FR_(V)

43,0	44,0	46,2	39,0	30,5	25,3	20,2	18,0	16,5	16,5	17,5	20,0	23,3	29,8	36,6	46,3	48,0
41,3	42,0	42,0	34,2	28,4	24,2	20,4	17,5	16,3	14,4	17,6	19,4	23,3	29,1	34,0	40,0	42,0
41,7	42,0	38,9	32,0	28,1	22,9	20,9	18,7	14,9	16,6	17,4	19,9	22,9	27,3	32,0	35,5	41,5
41,0	40,7	37,3	32,6	27,3	22,8	20,4	18,4	16,0	16,8	17,2	19,6	21,2	25,9	28,7	34,5	39,8
43,6	43,5	39,7	33,0	28,6	24,0	19,7	17,9	16,6	16,6	17,5	18,5	21,3	24,3	28,5	33,5	37,2
46,4	48,8	43,8	35,8	30,1	25,1	19,8	17,5	16,5	17,0	16,2	18,9	21,7	25,4	30,8	35,5	38,5
51,3	52,6	49,5	41,1	31,6	26,0	19,5	18,1	16,6	16,5	17,0	18,6	21,2	26,2	31,2	36,8	41,1

Via de Pedestres 2 - VP₍₂₎

39,3	49,1	46,5	45,3	29,4	24,2	19,3	17,4	16,9	16,9	18,6	20,7	24,3	34,8	41,1	43,6	35,0
35,9	45,1	48,6	37,2	14,0	21,3	19,7	17,2	16,3	17,0	18,6	21,7	16,8	34,7	43,8	47,5	41,5
44,0	50,1	47,1	36,1	27,1	20,7	10,3	11,1	11,5	13,3	16,4	20,5	26,3	32,0	43,0	51,9	53,5
50,0	32,8	45,1	33,4	25,0	23,0	16,4	15,4	14,1	13,6	14,6	15,1	21,1	29,3	38,7	49,2	53,2

Malha de medição 1 - Grade de medição cenário 1

5.1.1 Simulações Computacionais

Para comprovar os resultados obtidos pelas medições em campo, foram efetuadas simulações computacionais através do *software* DIALux EVO, e comparadas com as condições atuais de iluminância do sistema iluminação do cenário. Através de pesquisas em catálogos e *plug-ins* disponibilizados por fabricantes

de luminárias, foi localizado uma luminária semelhante à ornamental do tipo republicano, da empresa Simon Lighting (modelo GO1) tipo clássica urbana, para lâmpadas de descarga de alta intensidade. As lâmpadas inseridas na simulação são do tipo vapor de sódio 250 Watts, com fluxo luminoso 32000 lúmens e fator de depreciação do fluxo luminoso de 0,57 conforme mencionado na Tabela 5.

Com exceção do cenário 4, em todas as demais constatações presentes neste trabalho, foi utilizado a mesma luminária, por isso, quando for efetuado a comparação entre as estruturas republicanas, referem-se às simulações feitas com esse modelo apresentado.



Figura 14 - Alternativa de luminária para simulação
 Fonte: Adaptado de (LIGHTING; PUBLICA, 2015).

Os atributos da topologia viária foram inseridos no programa, resultando na configuração que pode ser visualizada na Figura 15. As demarcações em azul, inseridas entre as luminárias, representam os pontos aonde são obtidos os dados de iluminância com uso do luxímetro. As curvas isolux gerada pela simulação são apresentadas na Figura 16, e o seu detalhamento pode ser visto na Figura 42. É importante salientar que, curvas isolux de mesma cor em vias distintas apresentam valores de iluminância diferentes. Desta maneira deve-se analisar as curvas isolux em cada via separadamente.

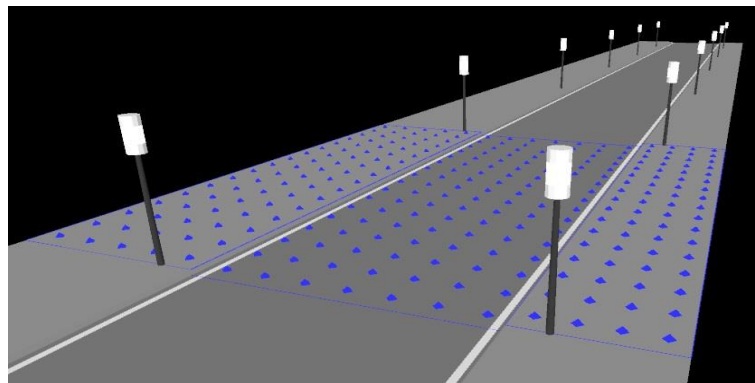


Figura 15 - Apresentação do cenário 1. VP₍₁₎, FR_(V) e VP₍₂₎, da esquerda para a direita respectivamente

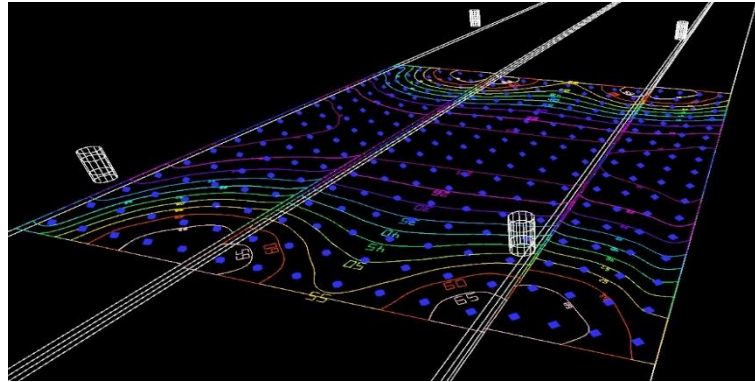


Figura 16 - Curvas isolux cenário 1

A grade de medição gerada pelo *software* é exibida na Figura 17 e os valores destacados representam as iluminâncias mínimas e máximas obtidas através das simulações. Ao efetuar a análise desses dados, verificou-se que os valores obtidos pelas medições em campo, são bem semelhantes aos simulados. Destaque para $FR_{(V)}$, que apresentou valores de iluminância mais próximos dos reais, por não apresentar nenhuma obstrução do fluxo luminoso sobre a via. A menor diferença entre $E_{máx}$ foi de apenas 14,4 lux na $FR_{(V)}$ e a maior diferença de 18,8 lux em $VP_{(1)}$. Como o *software* não leva em consideração os obstáculos presentes sobre o passeio de pedestres, muito menos as diferenças de níveis do chão e as demais particularidades da via, esses dados representam as melhores condições no que diz respeito às iluminâncias em relação a simetria do plano simulado.

VP(1)

Horizontal illuminance [lx]

37	34	29	24	20	16	14	13	12	13	14	16	20	24	29	34	37
51	46	38	30	24	19	16	14	14	14	16	19	24	30	39	47	52
64	59	48	37	28	22	18	16	15	16	18	22	28	37	48	59	64
69	66	55	42	31	24	19	17	16	17	19	24	31	42	55	67	69
71	69	58	44	32	25	20	18	17	18	20	25	32	44	58	69	71

Grid: 17 x 5 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]
33	12	71

FR(V)

Horizontal illuminance [lx]

67	63	54	42	32	25	21	19	18	19	21	25	32	42	54	63	67
64	58	49	39	31	25	21	19	18	19	21	25	31	40	49	59	64
57	52	45	37	30	25	21	19	19	19	21	25	30	37	45	53	57
54	50	43	36	30	25	21	19	19	19	21	25	30	36	43	50	54
57	52	45	37	30	25	21	19	19	19	21	25	30	37	45	53	57
64	58	49	39	31	25	21	19	18	19	21	25	31	40	49	59	64
67	63	54	42	32	25	21	19	18	19	21	25	32	42	54	63	67

Grid: 17 x 7 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]
37	18	67

VP(2)

Horizontal illuminance [lx]

71	69	58	44	32	25	20	18	17	18	20	25	32	44	58	69	71
70	68	57	43	31	24	20	17	17	17	20	24	32	43	57	68	70
68	64	53	40	30	23	19	16	16	17	19	23	30	40	53	64	68
62	56	46	35	27	21	17	16	15	16	17	21	27	35	46	57	62

Grid: 17 x 4 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]
-----------	-----------	-----------

Figura 17 - Iluminância horizontal cenário 1**5.1.1.1 Solução 1**

A primeira solução tem como base a redução da carga instalada, por meio de substituição das lâmpadas e reatores atuais, por lâmpadas do tipo vapor de sódio comerciais com selo Procel de 150 Watts (17000 lúmens) e reatores de baixa perda 17 Watts, mantendo a atual configuração das luminárias do tipo ornamentais dispostas na via. Para esta solução e as demais neste cenário, as arandelas presentes nos pilares da estrutura do mercado do produtor equipadas com lâmpadas fluorescentes compactas de 11 Watts e fluxo luminoso de 594 lúmens foram desativadas.

As simulações realizadas para esta condição, atenderam os requisitos previstos em norma para toda a via em estudo. Contudo, como o *software* não considera os obstáculos presentes no cenário, como o caso de lixeiras, pilares, canteiros, para garantir que as iluminâncias em VP₍₁₎ sejam atendidas, foi inserido nas simulações luminárias do tipo LED de 7 Watts, fluxo luminoso de 600 lúmens, do fabricante General Electric Company - GE (modelo DM4L18SP65), Figura 18. Com espaçamento entre as luminárias de 5,0 metros, dispostas a uma altura de 3,5 metros

no forro da estrutura do mercado do produtor. Essa alternativa relativamente simples e eficaz, foi utilizada em todas as demais soluções apresentadas neste cenário para a via de pedestres 1.

Comparando-se os dados da Tabela 16 para a presente solução, constata-se que todas as vias estão de acordo com os níveis de iluminação estipulados em norma. A VP₍₁₎ apresentou E_{méd} de 29,0 lux, valor acima do atual. Isso deve-se ao uso das luminárias LED, que contribuem de forma a elevar o E_{mín} e conseqüentemente o fator de uniformidade. Como esperado, para a FR_(V) e VP₍₂₎ os valores de E_{mín} e E_{méd} ficaram abaixo dos obtidos em campo, pois as lâmpadas de vapor de sódio de 150 Watts, possuem menor fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas atualmente.

A Equação (8) apresenta o detalhamento do cálculo para o consumo anual baseado na potência instalada (P) e um período de funcionamento de 12 horas. Para quantificar os gastos monetários anuais com o consumo de energia elétrica, efetua-se o produto do consumo pelo valor aplicado a tarifa B-4a presente na Tabela 6.

$$\frac{P}{1000^2} \cdot 4380 = \text{ConsumoAnual}(\text{MWh/ ano}) \quad (8)$$

Estima-se que o sistema atual seja responsável por consumir cerca de 24 MWh em energia elétrica ao longo de um ano, resultando em gastos no mesmo período de R\$ 9847,22. Com base na Equação (8), para a solução proposta, o consumo anual seria de 13,81 MWh equivalentes a R\$ 5665,75. A solução 1 possibilitaria uma economia de até 42,46% e 10,19 MWh a cada ano, com uma redução de até R\$4181,48 no gasto com consumo de energia elétrica no mesmo período. Isto posto, conclui-se que esta solução apresenta uma alternativa relativamente simples para redução do consumo de energia elétrica.

A Figura 19 apresenta a configuração das luminárias e a distribuição das curvas isolux. O seu detalhamento pode ser visualizado na Figura 43. A Tabela 16 resume os dados das iluminância simuladas em todas as soluções do cenário 1.



Figura 18 - Luminária LED 7 watts
Fonte: (GE LIGHTING, 2015).

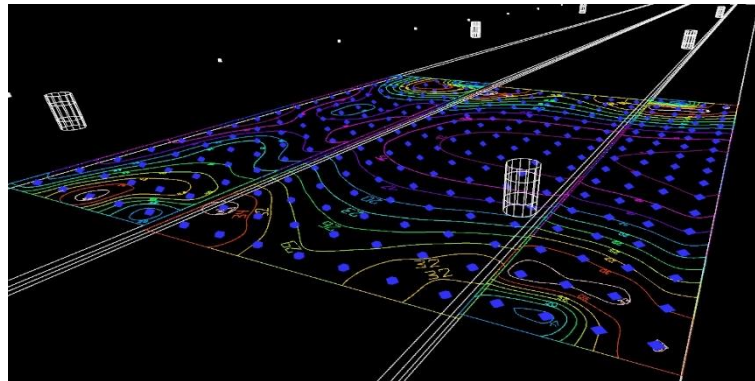


Figura 19 - Solução 1 do cenário 1

5.1.1.2 Solução 2

A segunda solução também baseia-se na redução da carga instalada, desativando as luminárias ornamentais do lado esquerdo da via, no sentido de fluxo de tráfego motorizado. Contudo, são mantidas as características das lâmpadas e das luminárias ornamentais do tipo republicano ao lado direito da via. É proposto a troca dos atuais reatores, por reatores de baixa perda de 24 Watts. Para esta situação, a topologia de iluminação viária muda de um arranjo bilateral oposto e torna-se um arranjo unilateral.

Observou-se através da Tabela 16, que os níveis de iluminância na $FR_{(V)}$ estiveram bem próximos ao da primeira solução e que a $VP_{(1)}$, obteve o maior U de 0,59. Esta alternativa, proporcionaria uma redução no consumo de energia em até 52,32%, equivalentes a 12,56 MWh ao ano e uma economia no mesmo período de até R\$5151,82. As curvas isolux geradas pelo *software* são apresentadas na Figura 20, e o detalhamento pode ser visto na Figura 44.

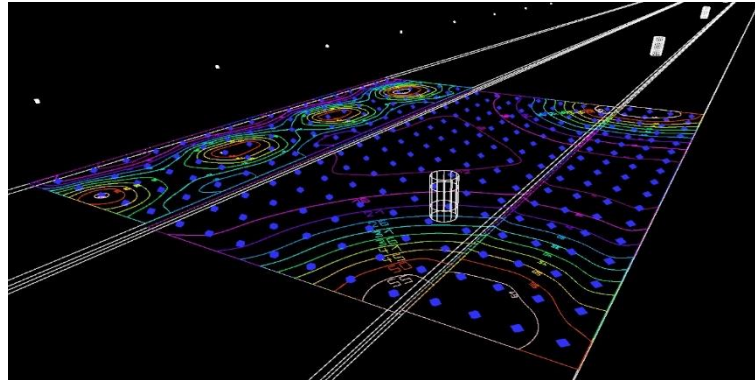


Figura 20 - Curvas isolux solução 2

5.1.1.3 Solução 3

A terceira solução compreende a substituição do sistema de iluminação atual por luminárias LED. A luminária escolhida é do modelo (BGP383 1xGRN106/740) da família *Iridium gen3* LED, do fabricante PHILIPS, exposta na Figura 21. Esta luminária possui alta eficiência de 128 lm/W, fluxo luminoso de 9573 lm, potência de 75 W, temperatura de cor de 3000K até 4000 K, tempo de vida de acordo com o fabricante pode chegar a 100000 horas e grau de proteção IP66.

Um dos seus maiores benefícios é que, através de um *software*, as configurações da luminária podem ser acessadas remotamente. Há possibilidade de identificar falhas no sistema de iluminação, monitorar o consumo de energia, além de poder regular algumas características como a potência de operação do módulo LED e o tempo que deve ser mantido aceso, conforme seja necessário. Possui diversas áreas de aplicações em vias centrais, ciclovias, áreas de estacionamento, vias residenciais e praças, por exemplo. A Figura 22 exhibe a configuração da solução e suas respectivas curvas isolux e seu detalhamento pode ser encontrado na Figura 45.

Essa luminária foi a que resultou em melhor benefício em relação a redução de consumo em comparação com as soluções apresentadas para este cenário. Além de combinar alta eficiência, o seu sistema integrado permite reduzir o fluxo luminoso da fonte de luz, com benefício que pode gerar economia de até 25% no consumo de energia. A substituição do sistema atual pelo proposto, sem ajustes de redução do fluxo luminoso possibilita a diminuição de até 82,26% no consumo de energia elétrica no período de um ano e uma redução de R\$8100,60.



Figura 21 - Luminária *Iridium Gen3* LED
Fonte: (PHILIPS, 2015).

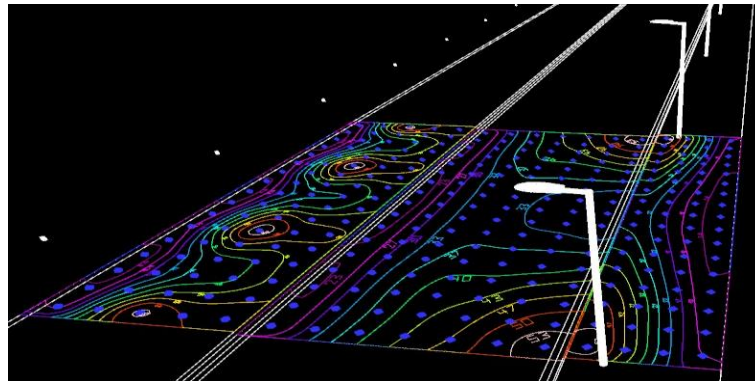


Figura 22 - Curvas isolux solução 3

5.1.2 Síntese dos Dados

Tabela 14 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 1

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Potência (W)	Perdas Reatores (W)	Potência instalada (W)
Vapor de Sódio	18	250	30	5040
Fluorescente Compacta	40	11	-	440
			Total	5480

Tabela 15 - Níveis de iluminância cenário 1

Cenário - 1	VP ₍₁₎			FR _(V)			VP ₍₂₎		
	Norma	Atual	Simulado	Norma	Atual	Simulado	Norma	Atual	Simulado
E _{MÍN} (lx)	1,0	3,6	12,0	3,0	14,4	18,0	1,0	10,3	15,0
E _{MÁX} (lx)	-	52,2	71,0	-	52,6	67,0	-	53,5	71,0
E _{MÉD} (lx)	5,0	25,2	33,0	15,0	28,63	37,0	5,0	23,81	38,0
U = E _{MÍN} / E _{MÉD}	0,2	0,14	0,36	0,2	0,5	0,49	0,2	0,43	0,39

Tabela 16 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 1

Solução	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	VP ₍₁₎			FR _(V)			VP ₍₂₎		
E _{MÍN} (lx)	15,0	10,0	7,96	10	9,27	22,0	8,6	11,0	6,0
E _{MÁX} (lx)	53,0	25,0	21,0	39,0	57,0	55,0	34,0	63,0	54,0
E _{MÉD} (lx)	29,0	17,0	15,0	21,0	20,0	36,0	19,0	33,0	23,0
U = E _{MÍN} / E _{MÉD}	0,52	0,59	0,53	0,48	0,46	0,61	0,45	0,33	0,26

Tabela 17 - Resumo das soluções do cenário 1

Quantid.	Lâmpada	Potência ^a (W)	Redução no Consumo de Energia ao ano (MWh)	Redução no Consumo de Energia (%)	Economia anual ^b (R\$)
ATUAL					
18	VSAP ¹ -250W	5040	0	0	0
40	FC-11W	440			
SOLUÇÃO 1					
18	VSAP ² -150W	3006	10,20	42,46	4181,47
21	LED-7W	147			
SOLUÇÃO 2					
9	VSAP ³ -250W	2466	12,56	52,32	5151,82
21	LED-7W	147			
SOLUÇÃO 3					
11	LED-75W	825	19,75	82,26	8100,60
21	LED-7W	147			

^a Conjunto lâmpada e reator (VSAP¹250x30W; VSAP²150x17W; VSAP³250x24W).

^b Considerando apenas a redução no consumo de energia, aplicado a tarifa B4a, conforme apresenta a Tabela 6.

5.2 CENÁRIO 2

Assim como no primeiro estudo, no dia em que foi realizada as medições do presente cenário, algumas luminárias apresentavam defeito e outras evidenciando acúmulo de muita sujeira em seus globos, impossibilitando parte da propagação de luz emitida pelas lâmpadas. Algumas destas constatações são apontadas na Figura 23.

A imagem (A) demonstra a luminária de cinco (5) globos com uma de suas lâmpadas desligada, da mesma forma como é observado na imagem (B). Nesta última imagem, exibe uma das duas luminárias de dois (2) globos, presente entre o primeiro trecho aonde foi realizado as medições. Em outro momento, pôde-se notar luminárias acesas durante o período matutino, visíveis na imagem (C) e por último na imagem (D), duas luminárias com uma lâmpada cada, desligadas no período noturno.

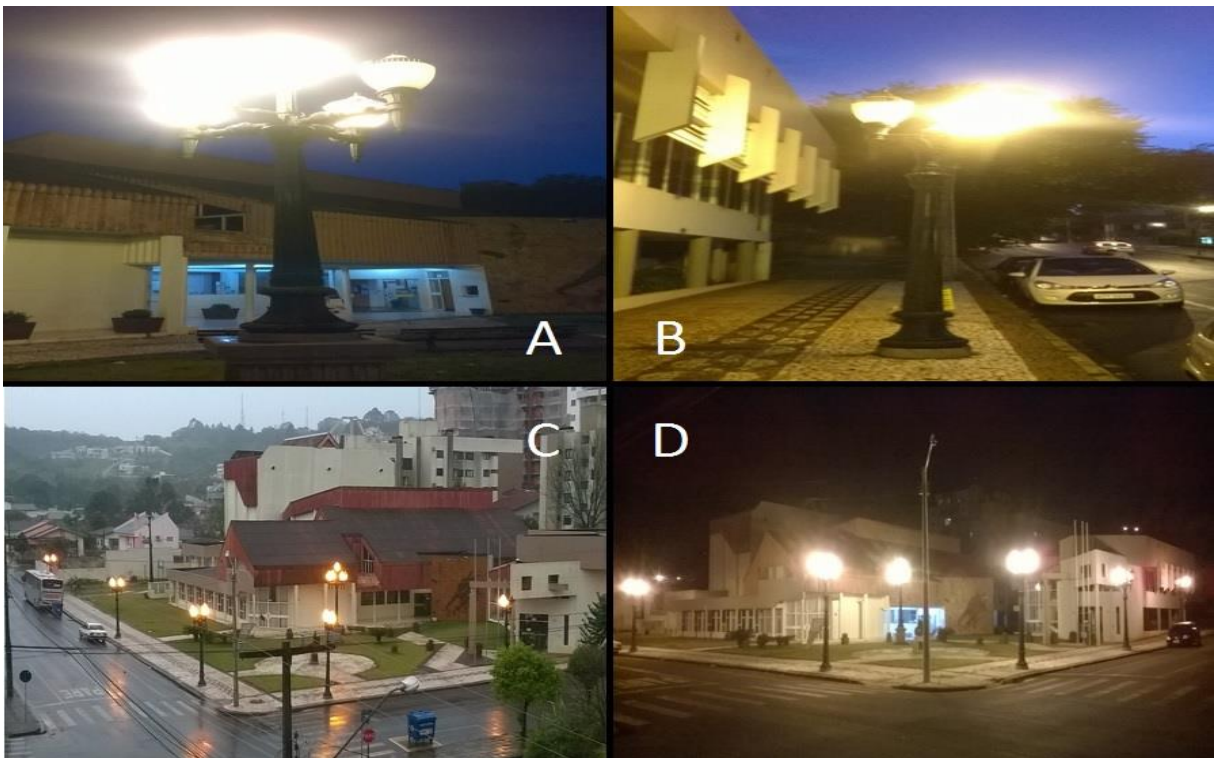


Figura 23 - Luminárias apresentando defeito no cenário 2

O primeiro trecho de medição, foi escolhido para identificar os níveis de iluminância do pior caso no cenário 2. O segundo trecho localizado entre as duas (2) luminárias à esquerda da imagem (D), pois as luminárias apresentavam-se em

melhores condições de limpeza. A Malha de medição 2 apresenta os resultados para ambos trechos.

Via de Pedestres 1 - VP₍₁₎

32,4	30,7	31,4	35,0	31,5	27,4	19,2	22,1	19,8	18,1	17,4	16,6	13,1	20,5	20,1	14,5	15,4
37,5	37,4	37,8	36,7	32,6	25,1	27,4	20,6	19,5	20,3	19,5	17,5	20,0	22,1	23,5	19,5	16,2
33,1	35,0	40,2	38,2	35,4	32,3	27,6	19,4	19,1	21,1	19,0	17,0	23,2	24,3	25,4	18,2	13,2
26,8	28,2	30,6	35,4	32,0	28,5	24,1	23,0	18,4	19,5	21,2	18,4	21,7	24,5	26,6	23,4	16,0
28,4	27,6	31,9	37,2	33,4	29,3	24,9	22,4	20,2	19,6	21,1	19,2	21,5	25,1	28,0	27,6	19,4

Via de Pedestres 2 - VP₍₂₎

50,1	50,4	42,1	27,6	20,2	17,5	15,8	19,0	19,3	18,2	18,5	21,7	28,1	35,1	42,0	53,2	48,5
53,3	53,0	46,5	31,2	23,4	18,2	17,5	15,7	17,4	15,4	16,2	23,0	27,1	38,5	50,4	56,0	46,9
36,1	54,7	48,3	32,0	24,8	19,4	17,2	15,9	18,0	15,2	15,9	23,5	26,9	39,4	57,1	58,8	45,1
34,3	53,6	45,7	33,4	24,1	16,7	16,4	16,8	13,5	16,1	15,4	21,7	27,3	42,3	55,3	62,3	42,3
37,1	50,1	46,3	30,8	22,3	15,4	15,7	14,4	18,1	15,7	16,3	24,0	27,5	46,5	51,5	55,4	35,2

Malha de medição 2 - Grade de medição cenário 2

Para a via de pedestres 1, os pontos escuros situados no lado direito da grade, são devidos a ausência de uma das lâmpadas da luminária, como dito anteriormente. Os valores de iluminância nas regiões próximas a luminária com defeito, apresentaram níveis reduzidos praticamente pela metade em comparação com a luminária oposta. Observa-se também, que mesmo com uma de suas lâmpadas apagadas, o nível de iluminância continuou respeitando os mínimos valores normativos, como exibido na Tabela 19.

No segundo trecho referente a via de pedestres 2, todas as lâmpadas estavam funcionando, e apresentaram distribuição de iluminância de maneira uniforme entre os pontos da grade. Os pontos próximos a luminária situada no lado direito do trecho medido, apresentou os maiores valores obtidos.

Em ambos trechos medidos, os níveis atuais de iluminância do local são atendidos. Contudo, a utilização das lâmpadas de vapor de sódio 250 Watts propiciam nesse caso, treze (13) vezes o nível mínimo de iluminância horizontal e duas (2) vezes o fator de uniformidade recomendado, mesmo com as condições atuais de limpeza dos globos das luminárias. Justificando assim, uma possível melhoria para o sistema.

5.2.1 Simulações Computacionais

As Figuras 24 e 25 apresentam os trechos simulados para as condições atuais, juntamente com as suas curvas isolux. Para $VP_{(1)}$, a lâmpada que não estava funcionando no dia em que foi realizada a coleta dos dados, foi suprimida da simulação para tentar aproximar os resultados simulados com os atuais.

A Tabela 19 demonstra que os valores simulados para $VP_{(1)}$ são praticamente o dobro em comparação as medidas realizadas em campo. Como já foi dito anteriormente, os globos das luminárias estavam cobertos por uma camada de sujeira, que interfere na propagação do fluxo luminoso. Já a $VP_{(2)}$ teve valores simulados muito próximos em todas as condições de iluminância. Com exceção de E_{\min} que apresentou 1,5 lux a menos que o valor atual. Essa diferença no nível de iluminância mínimo simulado ocorre, pois no entorno da praça do teatro, existe ainda outras luminárias próximas que contribuem para os pontos medidos, imagem (D) Figura 23, e na simulação esses dados não são considerados. O detalhamento das curvas isolux são encontrados na Figura 46 e Figura 47.

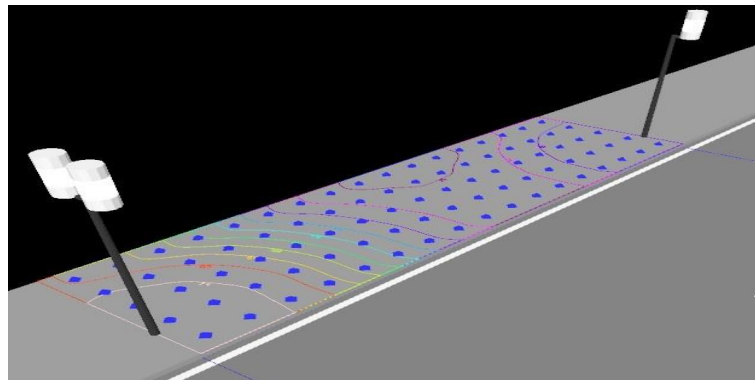


Figura 24 - Apresentação do cenário 2. $VP_{(1)}$.

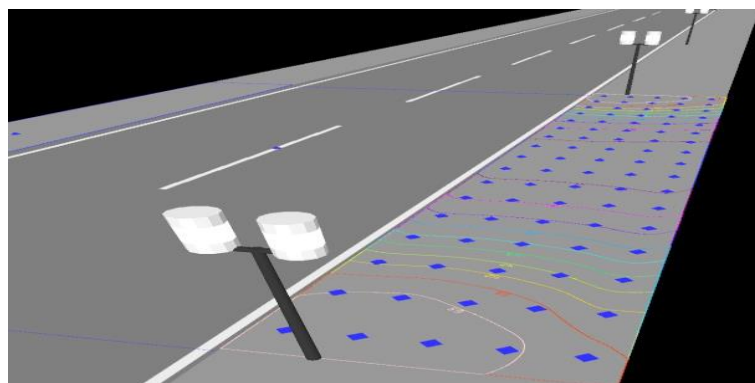


Figura 25 - Apresentação do cenário 2. $VP_{(2)}$

5.2.1.1 Solução 1

A primeira solução envolve a substituição das lâmpadas e reatores atuais, por lâmpadas de vapor de sódio 150 Watts e reatores de baixa perda de 17 Watts. Essa configuração adotada, possibilitou que os requisitos de iluminância fossem atendidos em toda extensão das vias envolvidas no estudo, bem como as adjacentes à elas. Os dados de iluminância das faixas de rolamento que não foram realizadas medições, estão anexadas na Figura 48 e Figura 49.

As simulações resultaram para $VP_{(1)}$ níveis de iluminância semelhantes aos medidos atuais e em ambos trechos os valores normativos foram atendidos. Esta solução poderia possibilitar que o consumo de energia elétrica seja diminuído em até 40,36% em comparação com o atual. Estima-se que em um (1) ano, resultaria em uma economia de R\$4061,08, no mesmo período.

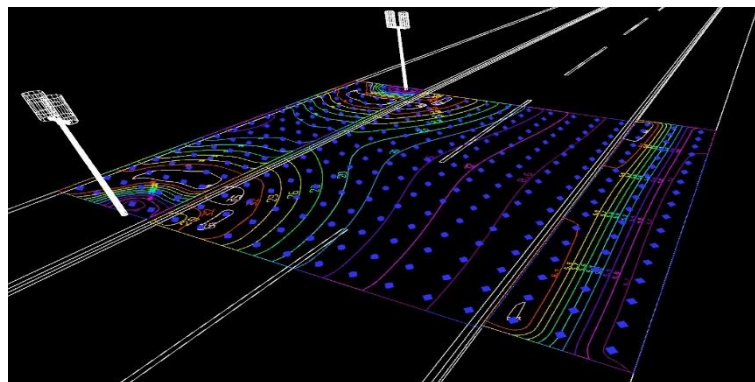


Figura 26 - Solução 1 para $VP_{(1)}$, no cenário 2

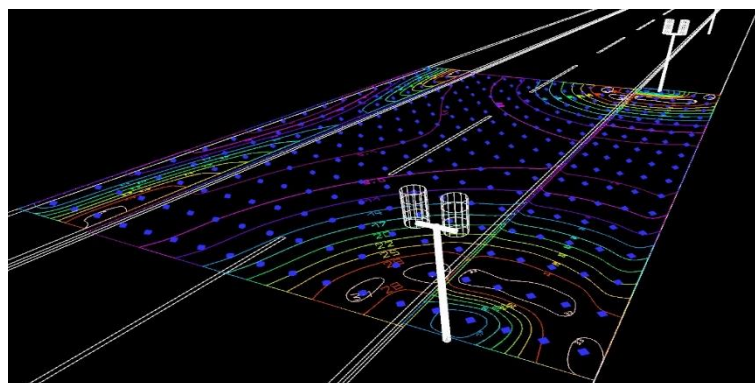


Figura 27 - Solução 1 para $VP_{(2)}$ no cenário 2

5.2.1.2 Solução 2

Na segunda alternativa, foi proposto permutar o sistema atual por luminárias LED, da marca PHILIPS, linha *SpeedStar*, modelo (BGP323 T35 1xGRN156-3S/740). Essa luminária oferece vários benefícios como, rendimento de 137 lm/W, grau de proteção IP65, mínima manutenção, possui um sistema de regulação de fluxo luminoso para aumentar a economia de energia, fotocélula integrada, e é indicada para iluminação pública. A Figura 28 demonstra uma imagem ilustrativa da luminária empregada.

Seguindo algumas recomendações de montagem disponibilizadas pelo fabricante, as luminárias foram inseridas no *software* com um espaçamento longitudinal de 20 metros e altura de 6 metros, e ângulo de inclinação de 5 graus. A Figura 29 e Figura 30, exibem as luminárias inseridas no programa.



Figura 28 - Luminária *SpeedStar*
Fonte: (PHILIPS, 2015).

Para evitar o desperdício de energia elétrica e obstar a poluição luminosa, no primeiro trecho $VP_{(1)}$ foi considerado apenas três (3) luminárias. Próximo a calçada aonde foi realizado o estudo, existe a estrutura física da biblioteca municipal, imagem (B) da Figura 23. Devido à altura que as luminárias foram inseridas no programa, torna-se desnecessário a utilização de uma quarta, já que está iria iluminar a parte superior lateral da edificação.

Novamente a solução a LED, se mostrou eficiente atendendo todos os requisitos para este cenário. Destaque para o alto valor do fator de uniformidade em $VP_{(2)}$, que obteve uma distribuição mais uniforme entre as variações de iluminância. Já $VP_{(1)}$, por ter uma luminária a menos, apresentou o menor valor de E_{\min} 16,0 lux.

Esta solução representa uma diminuição no consumo anual de até 16,64 MWh em relação ao sistema atual, o que equivale a uma redução de aproximadamente 67,86%. Ao prazo de um (1) ano, estima-se que a economia seja de até R\$6828,37

com o emprego da presente solução e baseado na redução do consumo de energia elétrica.

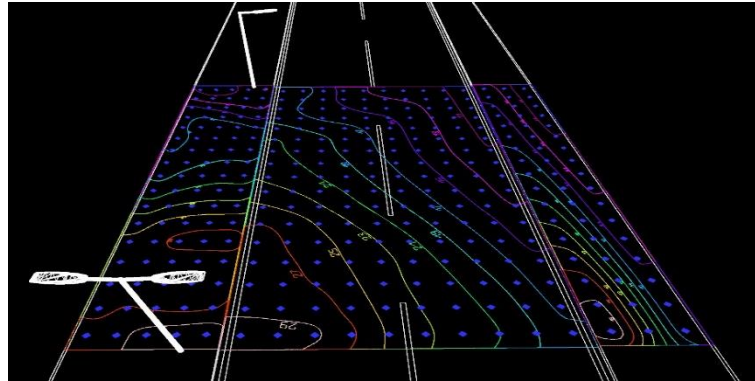


Figura 29 - Solução 2 para $VP_{(1)}$ no cenário 2

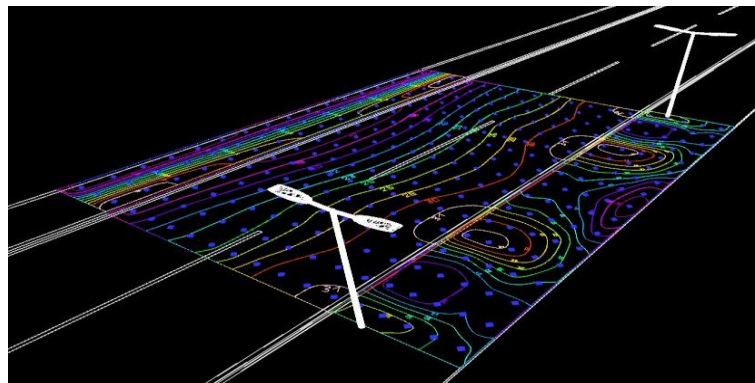


Figura 30 - Solução 2 para $VP_{(2)}$ no cenário 2

5.2.2 Síntese dos Dados

Tabela 18 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 2

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Potência (W)	Perdas Reatores (W)	Potência instalada (W)
Vapor de Sódio	20	250	30	5600

Tabela 19 - Níveis de iluminância cenário 2

Cenário - 2	VP ₍₁₎			VP ₍₂₎		
	Norma	Atual	Simulado	Norma	Atual	Simulado
$E_{MÍN}$ (lx)	1,00	13,10	26,00	1,00	13,50	12,00
$E_{MÁX}$ (lx)	-	40,20	76,00	-	62,30	74,00
$E_{MÉD}$ (lx)	5,00	24,88	45,00	5,00	31,59	37,00
$U = E_{MÍN} / E_{MÉD}$	0,20	0,53	0,58	0,20	0,43	0,32

Tabela 20 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 2

Solução	1	2	1	2
	VP ₍₁₎		VP ₍₂₎	
E _{MÍN} (lx)	16,0	16,0	6,98	30,0
E _{MÁX} (lx)	39,0	31,0	35,0	34,0
E _{MÉD} (lx)	29,0	24,0	18,0	32,0
U = E _{MÍN} / E _{MÉD}	0,55	0,67	0,39	0,94

Tabela 21 - Resumo das soluções do cenário 2

Quantid.	Lâmpada	Potência ^a (W)	Redução no Consumo de Energia ao ano (MWh)	Redução no Consumo de Energia (%)	Economia anual ^b (R\$)
ATUAL					
20	VSAP ¹ -250W	5600	0	0	0
SOLUÇÃO 1					
20	VSAP ² -150W	3340	9,9	40,36	4061,08
SOLUÇÃO 2					
15	LED-120W	1800	16,64	67,86	6828,37

^a Conjunto lâmpada e reator (VSAP¹250x30W; VSAP²150x17W).

^b Considerando apenas a redução no consumo de energia, aplicado a tarifa B4a, conforme apresenta a Tabela 6.

5.3 CENÁRIO 3

O cenário em estudo trata-se de uma área de lazer para a população. É composto por vias destinadas ao passeio de pedestres e possui predominância de árvores distribuídas pelos canteiros. Conquanto, algumas irregularidades foram constatadas no que diz respeito a compatibilidade entre a arborização e o sistema de iluminação. As imagens da Figura 31, mostram situações presenciadas, evidenciando a obstrução de algumas luminárias pelos galhos de árvores em seu entorno, e luminárias com defeito (lâmpada apagada).

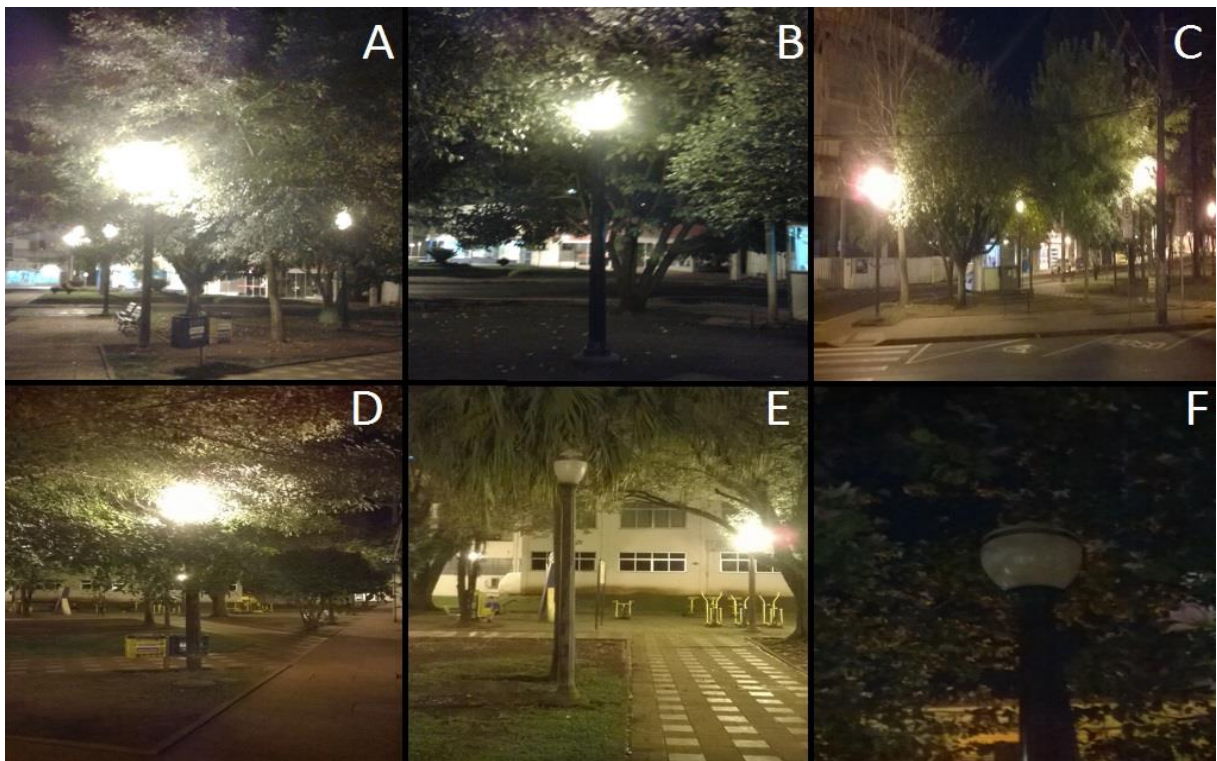


Figura 31 - Luminárias obstruídas e com defeito no cenário 3

Considerando as condições do cenário, foram analisados os possíveis locais para realização das medições. Notou-se um trecho no passeio que continha um banco disposto entre duas luminárias, e uma delas estava com o seu globo totalmente envolto pelos galhos de uma árvore. Motivados a identificar qual o impacto que essa situação resulta nos níveis de iluminância, esse trecho foi eleito como primeiro segmento de estudo, mostrado nas imagens (A e C) da Figura 31.

Como as luminárias estão instaladas adentro, no canteiro de grama, a área delimitada para realizar as medições restringe-se ao passeio de pedestres, e os

pontos de grade que estão situados em locais que não pertencem a calçada foram suprimidos. A Malha de medição 3 apresenta os valores de iluminância medidos para $VP_{(1)}$ e $VP_{(2)}$.

Via de Pedestres 1 - $VP_{(1)}$																
		40,2	43,9	40,3	34,7	28,7	24,1	19,9	7,1	10,0	7,9	9,0	11,0			
22,1	28,8	36,5	40,2	37,1	31,2	26,6	22,8	16,8	10,2	8,2	8,5	8,2	8,5	6,8	10,6	12,7
24,7	28,3	30,4	33,3	30,1	25,8	23,2	19,9	15,3	11,2	9,3	8,2	9,7	8,9	8,5	9,7	10,1
20,1	24,4	24,0	25,7	24,0	21,7	18,2	16,2	13,3	9,1	7,5	8,9	8,7	8,3	7,0	9,3	8,8
Via de Pedestres 2 - $VP_{(2)}$																
30,8	18,8	30,7	30,1	35,1	32,2	32,7	25,8	22,1	22,5	25,7	21,6	23,8	24,8	29,1	36,1	31,9
35,4	36,1	32,9	33,4	38,4	39,2	34,3	26,1	21,9	21,8	25,5	24,5	23,9	23,7	27,8	35,2	36,8
30,4	37,4	34,2	35,3	39,3	34,5	37,3	28,1	22,2	20,5	22,4	22,1	20,1	21,4	24,1	30,2	33,4

Malha de medição 3 - Grade de medição cenário 3

Efetuada análise da malha apresentada para na $VP_{(1)}$, é possível notar pelos pontos escurecidos, em qual parte está situada a luminária que possui seu globo totalmente encoberto pelos galhos das árvores. Os dados coletados demonstram que, mesmo com uma luminária com seu globo obstruído, as leituras de iluminância estão acima do nível mínimo estipulado para este local. Obteve-se 6,8 lux para E_{\min} e 18,64 lux para $E_{\text{méd}}$, os quais são contribuição da luminária presente ao lado esquerdo da malha.

A segunda medição, realizada na $VP_{(2)}$ dispõem de uma configuração de pontos da grade distinta das demais presentes neste trabalho. Até então, as medições foram realizadas entre um conjunto de dois (2) postes. Neste caso, considerou-se toda a extensão do passeio e as medições feitas entre as quatro (4) luminárias, mostradas na Figura 32. Devido a maneira como as luminárias são inseridas no *software*, não será realizado simulação para este trecho.

O espaçamento S_{L2} foi compreendido entre a primeira e a última luminária. Observou-se que as leituras das iluminâncias nesse último segmento, ficou distribuída de maneira uniforme ao longo do passeio. As condições atuais atendem para os valores $E_{\text{méd}}$ seis (6) vezes o mínimo necessário e três (3) vezes o fator de uniformidade. Todos os valores medidos neste cenário estão dispostos na Tabela 25.



Figura 32 - Segundo trecho de medição, cenário 3

5.3.1 Simulações Computacionais

A simulação realizada para o primeiro segmento de estudo pode ser notada na Figura 33, aonde é utilizado o emprego de lâmpadas de vapor de sódio 250 Watts. A luminária que constava com seu globo obstruído foi considerada desobstruída nesse caso, e os valores gerados pela simulação estiveram 119,95% acima das medições realizadas em campo para $E_{méd}$.

Expostos na Tabela 25, os valores obtidos através da simulação, atendem os requisitos estipulados em norma para todas as condições de iluminância e fator de uniformidade. Sobretudo, os valores encontram-se muito acima dos níveis mínimos necessários, o que comprova mais uma vez, que as lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação podem ser readequadas.

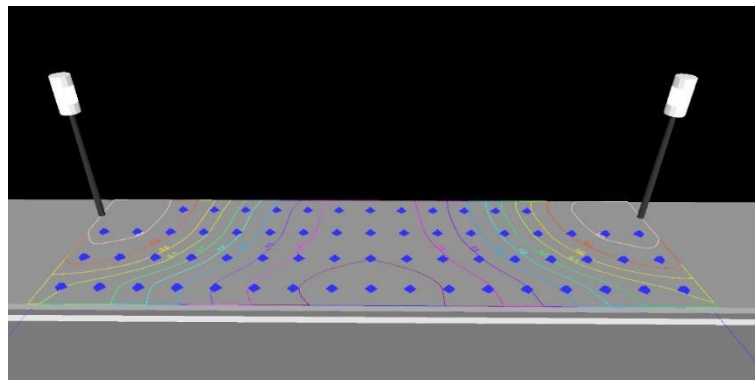


Figura 33 - Apresentação do cenário 3. VP₍₁₎

5.3.1.1 Solução 1

A primeira solução envolve a substituição das lâmpadas atuais e reatores, por lâmpadas de 150 Watts e reatores de baixa perda (17) Watts. Sugere-se a execução da manutenção da arborização, com poda das árvores locais. Baseado na NBR 5101, para esta solução, o cálculo para desobstrução da iluminação pelas árvores no sentido longitudinal e transversal a via pode ser visualizada abaixo:

$$Z = H - (A * D) \quad (9)$$

Onde

- Z é a altura mínima de um galho;
- H é a altura de montagem da luminária;
- A é o ângulo de máxima incidência de luz (A_L ou A_T);
- D é a distância mínima do galho de menor altura e a luminária.

Dessa forma para $H=3,2\text{m}$ e $A_L=0,26$ (cotang de 75°), é apresentado na Tabela 22, os limites de poda dos galhos para diferentes distâncias, que pode ser aplicado no presente cenário.

Tabela 22 - Altura mínima de poda dos galhos, para o cenário 3 (distância longitudinal)

D (m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Z (m)	2,94	2,81	2,68	2,55	2,42	2,29	2,16

De maneira similar, para diferentes distâncias e $A_T=0,57$ (cotang de 60°), apresenta-se a Tabela 23 com a altura mínima da poda de galhos.

Tabela 23 - Altura mínima de poda dos galhos para o cenário 3 (distância transversal)

D (m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Z (m)	2,63	2,35	2,06	1,78	1,49	1,21	0,92

Essa solução, pode apresentar uma redução no consumo de energia durante o ano de aproximadamente 40% em relação ao sistema atual. Essa redução representa ao longo de doze (12) meses uma economia de até R\$4670,25. Esses

valores são apresentados na Tabela 27 e a simulação desta solução é apresentada na Figura 34.

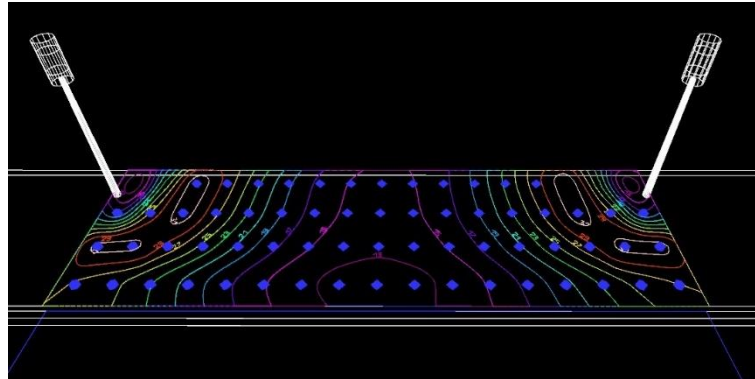


Figura 34 - Solução 1 para VP₍₁₎ no cenário 3

5.3.1.2 Solução 2

A segunda solução envolve a substituição do atual sistema, por luminárias LED, da marca PHILIPS, linha *CitySphere* (modelo BDP780 RB 56xGRN70/740 DM), exibida na Figura 35. Essa luminária possui aplicações exclusivas pra iluminação pública, combinando alta eficiência e baixa potência de operação. Com 7000 lúmens de fluxo luminoso total e potência de 56 Watts, seu rendimento pode alcançar até 125 lm/W e grau de proteção IP66. Esta luminária apresenta-se como uma excelente alternativa para substituição das lâmpadas de sódio 250 Watts no presente cenário.

Utilizando os mesmos lugares que as luminárias são instaladas atualmente, as estruturas foram montadas a uma altura de 3,5 metros. Para a configuração proposta, é necessário acrescentar quatro (4) luminárias, dispostas no local destinado a academia a céu aberto, espaçadas em 10 metros, para que o local esteja em conformidade com os níveis de iluminação.

A simulação apresentada na Figura 36, exibe as linhas isolux para esta solução. Através da análise da Tabela 27, é possível verificar que esta alternativa resultaria em uma redução de até 76% no consumo atual de energia elétrica. Num período de um (1) ano, a redução no consumo seria de 21,59 MWh, e estima-se uma economia de R\$8850,00. Demonstrado isso, esta solução apresenta a maior redução de consumo para o cenário 3.



Figura 35 - Luminária *CitySphere*
Fonte: (PHILIPS, 2015).

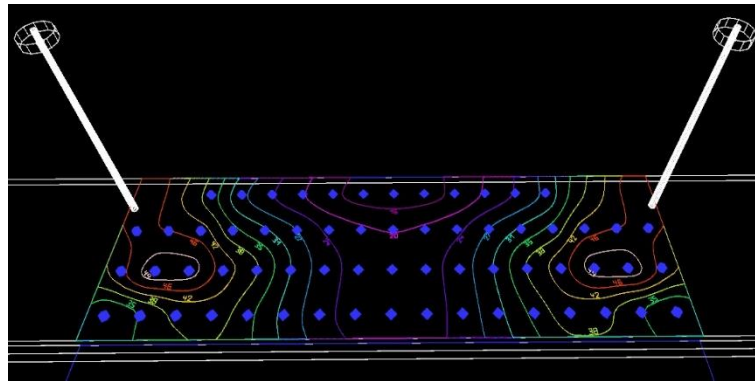


Figura 36 - Solução 2 para $VP_{(1)}$ no cenário 3.

5.3.2 Síntese dos Dados

Tabela 24 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 3

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Potência (W)	Perdas Reatores (W)	Potência instalada (W)
Vapor de Sódio	23	250	30	6440

Tabela 25 - Níveis de iluminância cenário 3

Simulado	$VP_{(1)}$			$VP_{(2)}$		
	Norma	Atual	Simulado	Norma	Atual	Simulado
$E_{MÍN}$ (lx)	1,00	6,80	22,00	1,00	19,00	-
$E_{MÁX}$ (lx)	-	43,90	66,00	-	40,00	-
$E_{MÉD}$ (lx)	5,00	18,64	41,00	5,00	30,00	-
$U = E_{MÍN} / E_{MÉD}$	0,20	0,36	0,54	0,20	0,63	-

Tabela 26 - Níveis de iluminância das soluções propostas cenário 3

Solução	1	2
	VP ₍₁₎	
E _{MIN} (lx)	12,00	15,00
E _{MÁX} (lx)	32,00	51,00
E _{MÉD} (lx)	21,00	32,00
U = E _{MIN} / E _{MÉD}	0,57	0,47

Tabela 27 - Resumo das soluções do cenário 3

Quantid.	Lâmpada	Potência ^a (W)	Redução no Consumo de Energia ao ano (MWh)	Redução no Consumo de Energia (%)	Economia anual ^b (R\$)
ATUAL					
23	VSAP ¹ -250W	6440	0	0	0
SOLUÇÃO 1					
23	VSAP ² -150W	3841	11,38	40,38	4670,25
SOLUÇÃO 2					
27	LED-56W	1512	21,59	76,52	8855,31

^a Conjunto lâmpada e reator (VSAP¹250x30W; VSAP²150x17W).

^b Considerando apenas a redução no consumo de energia, aplicado a tarifa B4a, conforme apresenta a Tabela 6.

5.4 CENÁRIO 4

O canteiro central da Avenida Tupi, destaca-se por apresentar ao longo de sua extensão, espaço destinado ao embelezamento urbano. Com o emprego de canteiros de flores em alguns trechos e uma iluminação com aspecto de cor branca, o cenário é realçado. As características das lâmpadas são do tipo vapor metálico 250 Watts com fluxo luminoso de 24500 lm instaladas nas estruturas ornamentais do tipo republicano.

Ao longo do trecho de estudo, pode ser encontrado luminárias dispostas no canteiro central, passeio e nos postes da concessionária. A Figura 37 exhibe o local aonde foi realizado o estudo. As luminárias empregadas na iluminação do passeio estão equipadas com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 250 Watts. Ao lado direito da mesma figura, nota-se a ausência de iluminação, e o trecho localizado na $FR_{(v1)}$ e na $VP_{(1)}$ estão pouco iluminados, por não possuírem luminárias na via de pedestres.

A Malha de medição 4, exhibe os dados coletados neste cenário, e é possível observar os pontos medidos de toda a extensão transversal a via no trecho designado para estudo. A Tabela 29 apresenta os dados resumidos das iluminâncias. Nota-se que em nenhuma via os requisitos foram atendidos por completo para a situação atual, no trecho em estudo. A $VP_{(1)}$ e a $FR_{(v1)}$ apresentam um nível de iluminamento precário, sendo a $E_{mín}$ de 1,4 e 1,9 lux, respectivamente. É possível notar que as maiores leituras obtidas neste cenário, estão presentes na $VP_{(2)}$, onde as luminárias instaladas com lâmpadas de vapor de sódio, são direcionadas para o passeio e pouco contribuem com poluição luminosa acima do eixo horizontal, como é observado nas estruturas do tipo republicano.

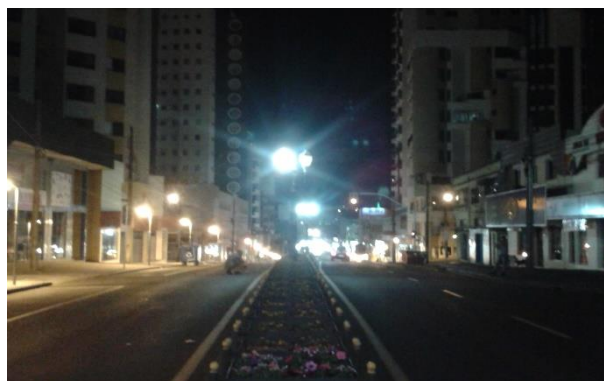


Figura 37 - Trecho de medição cenário 4

Via de Pedestres 1 - VP₍₁₎

3,7	3,7	3,2	3,3	2,7	2,3	2,6	2,1	1,6	1,8	2,2	2,1	2,5	2,5	2,4	1,7	1,4
2,8	3,2	3,4	3,5	3,0	2,7	2,3	2,0	1,8	1,9	1,9	1,7	2,1	2,6	2,1	1,7	1,6
1,4	4,3	4,1	3,9	3,4	2,9	2,4	2,0	1,9	1,9	2,1	2,0	2,4	3,1	2,4	2,2	1,9
1,8	4,7	3,9	3,6	3,1	3,0	2,4	2,2	2,6	2,1	2,0	2,5	2,1	3,2	2,7	2,9	2,0
1,7	5,9	4,3	3,5	3,3	2,9	2,8	2,4	2,3	2,0	2,6	2,3	2,5	2,7	3,0	2,7	2,3

Faixa de Rolamento de Veículos 1 - FR_(V1)

7,2	5,8	5,7	5,0	4,0	3,2	2,7	2,4	2,2	2,4	2,1	2,4	3,0	3,6	4,2	3,7	3,1
8,1	8,5	7,2	5,6	4,5	3,4	3,0	2,5	2,3	2,3	2,4	2,6	3,2	4,1	4,8	4,9	3,4
9,2	9,1	8,1	6,3	4,9	5,5	3,0	2,6	2,4	2,2	2,6	2,7	3,3	4,2	5,4	5,9	3,6
10,4	10,9	9,4	6,9	5,2	4,2	3,1	2,8	2,5	2,3	2,6	2,9	3,6	4,6	6,0	6,8	4,5
13,2	14,3	11,3	7,7	6,3	4,2	3,6	3,1	2,7	2,6	2,9	3,3	4,0	5,1	7,0	8,6	5,8
17,1	12,0	13,1	9,0	6,7	4,5	3,7	3,2	2,9	2,9	3,1	3,4	4,5	6,1	8,6	10,1	8,0
20,0	21,6	15,8	10,0	7,4	5,2	3,9	3,3	3,1	1,9	3,4	3,7	4,8	6,1	9,6	11,6	8,5
20,8	25,2	17,6	9,8	7,0	4,7	3,1	2,6	2,3	2,2	2,3	3,0	4,0	6,7	10,1	13,5	5,8

Faixa de Rolamento de Veículos 2 - FR_(V2)

17,5	33,2	25,5	17,9	9,0	9,3	6,9	6,2	6,9	6,1	8,2	10,9	11,0	13,0	17,6	25,0	20,3
25,0	33,6	27,8	22,8	12,7	14,1	9,4	8,0	7,0	11,0	15,4	17,0	14,8	14,7	18,5	23,0	22,4
27,0	33,3	31,3	32,3	16,7	23,2	11,8	10,5	13,7	20,3	26,4	30,0	23,1	18,1	18,1	22,0	22,7
34,2	35,5	37,8	47,7	24,4	36,6	12,6	7,9	18,5	30,7	34,2	41,0	30,2	21,6	19,0	21,8	23,3
37,8	39,4	49,1	73,7	39,7	63,0	34,0	11,0	19,8	46,1	52,7	73,0	44,9	27,0	20,4	20,9	24,0
37,9	40,1	59,2	96,2	60,3	99,3	49,3	25,1	31,1	65,7	49,9	97,7	58,8	31,9	21,8	21,2	23,4

Via de Pedestres 2 - VP₍₂₎

19,1	124	31,0	35,0	36,0	66,0	153	196	91,0	50,0	10,0	21,0	24,0	32,0	78,0	126	28,0
358	172	95,0	58,0	47,0	82,0	191	263	101	59,0	32,0	25,0	29,0	41,0	72,0	169	278
182	125	92,0	59,0	25,0	71,0	123	153	78,0	46,0	30,0	24,0	21,0	39,0	61,0	131	192
86,0	71,0	50,0	34,0	32,0	57,0	70,0	75,0	52,0	41,0	25,0	21,0	23,0	35,0	51,0	92,0	98,0
73,0	59,0	45,0	29,0	27,0	44,0	54,0	58,0	40,0	32,0	19,0	18,0	20,0	29,0	44,0	79,0	81,0
48,0	43,0	27,0	25,0	23,0	31,0	36,0	41,0	31,0	22,0	17,0	16,0	18,0	26,0	39,0	55,0	54,0

Malha de medição 4 - Grade de medição cenário 4

5.4.1 Simulações Computacionais

Consultando catálogos de fabricantes e *plug-ins* disponíveis na base de dados do programa DIALux, não foi possível encontrar uma luminária semelhante a ornamental tipo republicano, que permitissem a utilização de lâmpadas de vapor metálico 250 Watts. Os modelos disponibilizados são para lâmpadas de até 150

Watts, porém, as simulações com estas luminárias não atenderam os requisitos de iluminância das vias.

5.4.1.1 Solução

A avenida contém trechos em que a via motorizada é de mão única e pista dupla ao longo de sua extensão. Para simulação desta solução, propõem-se utilizar a luminária descrita na solução 2 (Figura 28). Mantendo a distribuição em pares das luminárias no canteiro central, com separação entre as estruturas de 25 metros. Com esse espaçamento, a altura necessária para que as luminárias possibilitem atender os níveis de iluminância em toda a via, é de 7,0 metros com inclinação de 5°. Nos trechos da via, aonde tiver mão única, recomenda-se que essa altura seja de 6,0 metros. A Figura 38, demonstra a topologia utilizada na via, as curvas isolux e o seu detalhamento é apresentado na Figura 55.

Com essa configuração adotada, é possível substituir as luminárias dispostas no canteiro central, o que impacta em uma redução do consumo de 98,12 MWh em comparação com o cenário atual. Para o caso da remoção das luminárias do canteiro central juntamente com as luminárias do passeio, a redução anual de consumo pode chegar à 71,69%, o que representa 233 MWh no mesmo período. Com essa redução, se economizaria aproximadamente R\$ 95597,14 em gasto com o consumo de energia elétrica anual. A Tabela 30 apresenta esses dados.

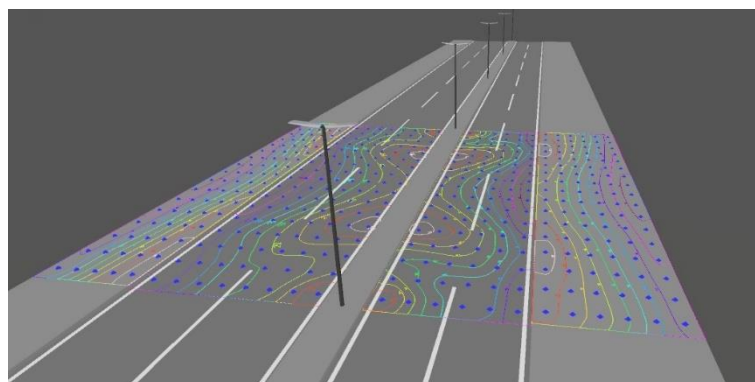


Figura 38 - Solução para o cenário 4

5.4.2 Síntese dos Dados

Tabela 28 - Quantitativo de lâmpadas e da potência instalada no cenário 4

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Potência (W)	Perdas Reatores (W)	Potência instalada (W)
Vapor de Sódio (Canteiro central)	155	250	30	43400
Vapor de Sódio (Via de pedestres)	110	250	30	30800

Tabela 29 - Níveis de iluminância cenário 4

Cenário - 2	Via de Pedestres 1			Faixa de Rolamento 1			Faixa de Rolamento 2			Via de Pedestres 2		
	Norma	Atual	Solução	Norma	Atual	Solução	Norma	Atual	Solução	Norma	Atual	Solução
Emín	2,50	1,40	11,00	3,00	1,90	16,00	3,00	6,10	17,00	2,50	10,00	12,00
Emáx	-	5,90	17,00	-	25,20	23,00		99,30	23,00	-	358,00	18,00
Eméd	10,00	2,62	14,00	15,00	5,96	19,00	15,00	28,87	20,00	10,00	67,26	15,00
U	0,25	0,54	0,79	0,20	0,32	0,84	0,20	0,21	0,85	0,25	0,15	0,80

Tabela 30 - Resumo da solução do cenário 4

Quantid.	Lâmpada	Potência ^a (W)	Redução no Consumo de Energia ao ano (MWh)	Redução no Consumo de Energia (%)	Economia anual ^b (R\$)
ATUAL					
155	VM ¹ -250W	43400	0	0	0
110	VSAP ² -250W	30800			
SOLUÇÃO					
175	LED-120W	21000	233	71,69	95597,14

^a Conjunto lâmpada e reator (VM¹250Wx30W; VSAP²250x30W).

^b Considerando apenas a redução no consumo de energia, aplicado a tarifa B4a, conforme apresenta a Tabela 6.

5.5 SÍNTESE DOS CENÁRIOS

Tabela 31 - Síntese dos cenários

CENÁRIO	SISTEMA ATUAL		SISTEMA PROPOSTO				
	Carga Instalada (W)	Consumo Anual (MWh)	SOLUÇÃO	Carga Instalada (W)	Consumo Anual (MWh)	Redução %	Economia Anual Estimada (R\$)
1	5480	24,00	1	3153	13,81	42,46	4181,47
			2	2613	11,44	52,32	5151,82
			3	972	4,26	82,26	8100,60
2	5600	24,53	1	3340	14,63	40,36	4061,08
			2	1800	7,89	67,86	6828,36
3	6440	28,21	1	3841	16,82	40,36	4670,24
			2	1512	6,62	76,52	8855,31
4	74200	325,00	1	21000	91,98	71,70	95597,14

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora a iluminação pública não seja uma necessidade primordial para a sobrevivência da sociedade, ela desempenha papel fundamental para a harmonia e progresso dos centros urbanos. Os locais de estudo envolvendo o sistema de IP da cidade de Pato Branco, possuem enfoque arquitetônico utilizando luminárias do tipo ornamental republicano, que contribuem com embelezamento do espaço público urbano e o desenvolvimento da comunidade.

Contudo, pôde-se constatar com o estudo realizado, que as luminárias e lâmpadas instaladas no sistema atual, além de atender os requisitos normativos para níveis de iluminação, contribuem com grande parte em poluição luminosa. Observou-se que a carga instalada é sobredimensionada, gerando maiores gastos com consumo de energia elétrica do que seria necessário, conforme verificado pelas simulações.

Foi possível apresentar pelo menos uma solução para cada cenário, visando a economia no consumo de energia elétrica. Para os três (3) primeiros cenários, demonstrou-se soluções, para que o setor de IP possa efetuar mudanças com a mínima intervenção no sistema. Propõem-se a substituição das atuais lâmpadas de VSAP 250 Watts, por lâmpadas de VSAP 150 Watts e reatores de baixa perda. Essas soluções reduzem a carga instalada mantendo níveis aceitáveis de iluminância, sem prejudicar a segurança de pedestres e o tráfego de veículos.

Outra solução que propõe a redução do consumo é apresentada com utilização de luminárias LED. A maior redução estimada com o emprego desta tecnologia é apresentada na terceira solução do cenário um (1), chegando até 82,26%, o que equivale à uma diminuição do consumo anual em 19,74 MWh. As demais soluções LED nos outros cenários apresentaram uma atenuação no consumo de energia elétrica variando de 67,85% até 76,52%. Se as soluções LED dos cenários forem utilizadas em conjunto, ao longo do ano seria possível uma redução anual de até 290 MWh.

A tecnologia LED se apresenta como uma boa solução para conservação de energia, devido ao seu alto rendimento luminoso e longa vida útil. Porém, por ser uma tecnologia recente, seu custo de aquisição é elevado além de ser um produto em fase de consolidação no mercado, quando comparado as tecnologias existentes.

Sugere-se aos trabalhos futuros, a realização do cálculo de viabilidade econômica para a possível substituição dos equipamentos em iluminação pública, análise tarifária para redução da demanda contratada e estudo de distorção harmônica total (THD - *Total Harmonic Distortion*) em instalações de iluminação pública empregando luminárias LED.

REFERÊNCIAS

- ADIB, Carlos A. Energia Elétrica em Porto Alegre (RS), 2007. Disponível em: <<http://www.carlosadib.com.br/>>. Acesso em: 15 Setembro 2015.
- ALMEIDA, Danielle O. D. **Gestão Eficiente de sistemas de Iluminação Pública**. UNICSUL. Belo Horizonte - MG: [s.n.], 2012. 89 p. Acesso em: 20 set. 2014.
- ANGELI, Almir J. **Apoio didático. Curso Técnico de Petróleo**. Disponível em: <http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/conservacao_de_recursos.pdf>. Acesso em: 17 Agosto 2015.
- ASCURRA, Rodrigo E. **EFICIÊNCIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA UTILIZANDO TECNOLOGIA LED: UM ESTUDO DE CASO**. UFMG. Cuiabá: [s.n.], 2013. 157 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminação**. 1991. 68p.[s.n.], Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 5101: Iluminação Pública - Procedimento**. 2012. 35p.[s.n.], Rio de Janeiro, 2012.
- AVER, Ana. **A Relação Iluminação Pública e Criminalidade**. 2013. 14p.[s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.especializandoce.com/>>. Acesso em: 18 jul. 2015.
- BRUNS, César B. **Curso de Formação de Condutores para a Obtenção para Dirigir e da Autorização para Conduzir Ciclomotores**. 2009. 168p. 1ª ed. - TECNODATA, Curitiba, 2009.
- C.A.S. **Empresa Especializada em Iluminação LED. CASOE**. Disponível em: <<http://www.casoe.com.br/wp-content/uploads/2012/11/a-GUIA-DE-ILUMINA%C3%87%C3%83O-EXCELENTE-GEN%C3%89RICO.pdf>>. Acesso em: 25 Novembro 2015.
- CASTRO, Felipe N. D.; LUCIANO, Benedito A. Capítulo X - Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 81, p. 38-47, out. 2012. ISSN 1983-0912.
- CAVALLER, Francisco; ELIZALDE, Javier. Eficiência energética e custos na evolução da tecnologia LED. **Eletricidade Moderna**, n. Nº 490, p. 82-87, Janeiro 2015. ISSN 0100-2014.
- CETRIC. **Revista Institucional - Transformando e Preservando**. 2015. 47p.[s.n.], 2015.

COIMBRA, Cláudia M. **A Relação Iluminação Pública e Criminalidade: A Relação Iluminação Pública e Criminalidade.** [S.l.]: [s.n.], 34 p.

PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 1.007. Consultoria Jurídica. **Ministério de Minas e Energia.** [S.l.], 31 Dezembro 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interminestral+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1>. Acesso em: 06 Setembro 2015.

COPEL. **Manual de Iluminação Pública.** 2012. 39p.[s.n.], 2012. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/M%20anuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf>. Acesso em: 22 Julho 2015.

COPEL. Taxas e Tarifas. **COPEL**, 2015. Disponível em: <<http://www.copel.com/>>. Acesso em: 01 set. 2015.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 15ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. Único, 2007. ISBN 978-85-216-1567-5.

DAMBISKI, Leandro P. **APLICAÇÃO DO PROGRAMA NACIONAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE (PROCEL-RELUZ).** UFPR. Curitiba: [s.n.], 2007. 78 p.

BRASIL. DECRETO Nº 2.335 - Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências.. **(3)Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos.** Brasília - DF, 06 out. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM>. Acesso em: 28 set. 2014.

DEPARTAMENTO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA. Portal da Prefeitura da Cidade de São Paulo. **Prefeitura de São Paulo**, 2015. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/ilume/historia/index.php?p=312>>. Acesso em: 19 Julho 2015.

ELECTRONICS, Royal P. Dicas de Iluminação. **PHILIPS**, 2015. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com.br/lightcommunity/trends/ecochange/dicas-de-iluminacao.wpd>>. Acesso em: 04 set. 2015.

ELEKTRO. **Sistema de Iluminação.** Manuais Elektro de Eficiência Energética - Segmento Industrial. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/manualluminacao_novo.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

ELETROBRAS. Iluminação Pública. **Iluminação Pública - Procel**, 2010. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID=%7BEB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57%7D>>. Acesso em: 23 set. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**. EPE. [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 02 Agosto 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015 - Ano base 2014 - Relatório Síntese**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 62 p. (620.9.553.04).

FILHO, João M. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GALVÃO, Luiz C. R.; GRIMONI, José A. B.; UDAETA, Miguel E. M. **Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos Para o Desenvolvimento Limpo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004. 233 p. ISBN 85-314-0800-3.

GE LIGHTING. Disponível em: <<http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/images/LED-Eco-Downlight-Gen2-DataSheet.pdf>>. Acesso em: 12 Agosto 2015.

GOEKING, Weruska. **Lâmpadas e Leds**. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

GOUVEA, Juliane A. **Aparelho expositor de luzes para cromoterapia - Cores**. UTP. Curitiba - PR: [s.n.], 2006. 154 p.

HADDAD, Jamil; GAMA, Paulo H. R. P.; GUARDIA, Eduardo C. Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. In: MOREIRA SANTOS, A. H., et al. **Conservação de energia**. 3ª. ed. Itajubá - MG: [s.n.], v. Único, 2006. Cap. 5, p. 597.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jear. **Fundamentos de Física**. 8ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2009.

INMETRO. Etiquetas. **INMETRO**, 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/etiquetas.asp>>. Acesso em: 27 julho 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **História - Petróleo**. Petróleo: da crise aos carros flex. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2321:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 11 Setembro 2015.

IWASHITA, Juliana. Lâmpadas de indução magnética: vantagens e desvantagens. **O Setor Elétrico**, n. 73, p. 150, Fevereiro 2012. ISSN 1983-0912.

JATOBA, Universo. Diferença entre as lâmpadas incandescente, fluorescente e LED. **http://www.universojatoba.com.br/**, 2015. Disponível em: <<http://www.universojatoba.com.br/sustentabilidade/consumo-consciente/diferenca-entre-lampadas-incandescente-fluorescente-e-led>>. Acesso em: 06 set. 2015.

JESUS, Marcelo D. O. Curvas fotométricas. **O Setor Elétrico**, n. 73, p. 150, Fevereiro 2012. ISSN 1983-0912.

BRASIL. LEI Nº 9.427 - Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.. **(2)Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 26 dez. 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9427cons.htm>. Acesso em: 28 set. 2014.

BRASIL. LEI Nº 9.478 - Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **(1)Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 06 ago. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm>. Acesso em: 28 set. 2014.

LIGHTING, Simon, 2105. Disponível em: <<http://www.simonlighting.es/>>. Acesso em: 16 Julho 2015.

LUMICENTER. Lumicenter. **Lumicenter Lightning**. Disponível em: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/arquivos/info_tecnicas_lumidec.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2015.

MAIA, José L. P.; MAIA, Ana C. B. **Guia Técnico PROCEL - Gestão Energética Municipal**. ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2002. 138 p.

MARQUES, Milton C. S. Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. In: MOREIRA SANTOS, A. H., et al. **Conservação de energia**. 3ª. ed. Itajubá - MG: [s.n.], v. Único, 2006. Cap. 1, p. 597.

Mercúrio no Setor da Saúde. **Saúde Sem Dano**. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://saudesemdano.org/america-latina/temas/mercurio>>. Acesso em: 15 Setembro 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2007. 210 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf>. Acesso em: 12 Agosto 2015.

NEOENERGIA. Iluminação Pública - Informações. **Conserv - Grupo Neoenergia I**, 2013. Disponível em: <<http://www.cosern.com.br/>>. Acesso em: 12 Setembro 2015.

NOGUEIRA, Fernando J. **Dissertações - 2013**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ppee/producao-bibliografica>>. Acesso em: 14 Setembro 2015.

NOGUEIRA, Luiz A. H. Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. In: MOREIRA SANTOS, A. H., et al. **Conservação de energia**. 3ª. ed. Itajubá - MG: [s.n.], v. Único, 2006. Cap. 2, p. 597.

OSRAM. Lâmpadas. **OSRAM**, 2015. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

PHILIPS. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en_AA/Applications/iridium/Iridium-gen3-Product-guide.pdf>. Acesso em: 29 Agosto 2015.

PHILIPS. Disponível em: <http://download.p4c.philips.com/l4bt/3/330540/speedstar_bgp321_330540_ffs_aen.pdf>. Acesso em: 01 Setembro 2015.

PHILIPS. Lâmpadas. **Philips**, 2015. Disponível em: <<http://www.philips.com.br/>>. Acesso em: 24 Agosto 2015.

PHILIPS. ML Luz Mista. **Philips**, 2015. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br/>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

PHILIPS. Reatores Philips. **lighting philips**, 2015. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_reatores.wpd>. Acesso em: 12 Setembro 2015.

POLIQUEZI, Augusto. **Eficiência Energética**. CREA-PR. Curitiba: CREA-PR, 2012. 10 p.

PRAXEDES, Gilmar ; JACQUES, Vinicius. **Conservação de Energia. A convergência dos diferentes sentidos**, Florianópolis, p. 10, 8 Novembro 2009.

PROCEL. **PROCEL INFO**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA%7D>>. Acesso em: 20/10/2015 Outubro 2015.

PROCEL INFO. O Programa. **Site do PROCEL**, 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=>

PROCEL INFO. O PROGRAMA PROCEL. **Site do PROCEL**, 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=>

PROCEL INFO. Procel. **Procel Info**, 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>>. Acesso em: 15 Agosto 2015.

PROCEL INFO. PROCEL. **PROCEL INFO - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO ENERGÉTICA**, 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>>. Acesso em: 11 Setembro 2015.

PROCEL; ELETROBRAS. **RESULTADOS PROCEL 2015, ANO BASE 2014**. Departamento de Desenvolvimento da Eficiência Energética (PFD). [S.l.]: [s.n.], 2015. 74 p. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf?1>. Acesso em: 20 Agosto 2015.

PUBLICA, Via, 2015. Disponível em: <<http://www.viapublica.com.br/>>. Acesso em: 28 Agosto 2015.

RELUZ, PROCEL. **PROCEL RELUZ: Descarte de Lâmpadas de Iluminação Pública**. 2004.[s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 29 Julho 2015.

BRASIL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414 - Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Brasília, DF, 09 set. 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf>. Acesso em: 29 set. 2014.

ROSA, Arlei L. D. S. **Ensino - Iluminação Artificial**. UFRGS. [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/>>. Acesso em: 06 set. 2015.

ROSITO, Luciano H. Capítulo 1 - As Origens da Iluminação Pública no Brasil. **O Setor Elétrico**, n. 36, p. 30-35, Janeiro 2009.

ROSITO, Luciano H. Capítulo III - Componentes da iluminação pública. **O Setor Elétrico**, p. 18-24, Março 2009.

ROSITO, Luciano H. Capítulo VII Projetos de Eficiência Energética em Iluminação Pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 41, p. 20-26, jun. 2009.

SAIDEL, Marco A. et al. LEDs na iluminação pública: avaliação em laboratório e em campo. **Eletricidade Moderna**, p. 50-61, Março 2013. ISSN 0100-214.

SALES, ROBERTO P. **LED, O NOVO PARADIGMA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**. Institutos Lactec. Curitiba: [s.n.], 2011. 117 p. Acesso em: 03 nov. 2014.

SANTANA, ROSA M. B. **ILUMINAÇÃO PÚBLICA: UMA ABORDAGEM GERENCIAL**. UNIFACS. Salvador, BA: [s.n.], 2010. 95 p. Acesso em: 19 Julho 2015.

SANTOS, Júlio. Saem Empresas, Entra o Setor Público. **Brasil Energia**, Rio de Janeiro, n. 395, p. 55-57, out. 2013. ISSN 0101-7837.

SCHNEIDER ELECTRIC. **SCHNEIDER ELECTRIC**. Disponível em: <http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/products-services/installation-systems-and-control/product-offer/range-presentation.page?p_tab_type=overview&c_filepath=/templatedata/Offer_Presentation/3_Range_Datasheet/data/en/shared/installation_sy>. Acesso em: 19 Outubro 2015.

SCHULZ, Willy. **Iluminação Pública**. 2010. 24p.[s.n.], Curitiba, 2010. Disponível em: <<https://creajrpr.wordpress.com/>>. Acesso em: 10 Julho 2015.

SIEMENS. **INDUSTRY MALL**. Disponível em: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/7LF4512-0>>. Acesso em: 19 Outubro 2015.

VALENTE, Mariana D. J. P. **Contributo para utilização formativa do conceito de energia**. 1993. 285p.[s.n.], Lisboa, 1993.

VIRTUOUS, Grupo. Cor e Frequência. **Só física**, 2015. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/>>. Acesso em: 19 jul. 2015.

VIVES, Carlos J.; TROGNO, Jean L. Análise dos Sistemas de Controle em Relação à Eficiência Energética. **Eletricidade Moderna**, São Paulo - SP, v. 455, n. 40, p. 40-49, fev. 2012. ISSN 0100-2104.

APÊNDICE

LÂMPADAS E REATORES CERTIFICADOS PELO PROCEL

Os fabricantes de equipamentos elétricos podem aderir voluntariamente ao programa de concessão de etiquetagem do PROCEL, com a finalidade de identificar os produtos que apresentem melhores níveis de eficiência energética. Para isto, os fabricantes devem atender os critérios exigidos pelo PROCEL para a categoria de cada produto. O PROCEL indica os laboratórios de ensaio e desempenho dos produtos, inclusive para a lâmpada de vapor de sódio e seu respectivo reator. Os equipamentos aprovados nos ensaios são contemplados com a etiqueta, e são apresentados em uma tabela com dados relevantes a cada equipamento, disponível na página da web do PROCEL. As lâmpadas e reatores sugeridos para substituição dos atuais equipamentos nas soluções propostas, possuem o selo PROCEL e são apresentados na Figura 39 e Figura 40, respectivamente.

LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO

Fornecedores: 17
Produtos: 112

Atualização: 09/10/2015



FORNECEDOR	MARCA	TIPO	MODELO	CÓDIGO DE BARRA	Nº REGISTRO	POTÊNCIA DECLARADA (W)	FLUXO LUMINOSO DECLARADO (lm)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	VIDA (h)
PHILIPS	PHILIPS	TUBULAR	TUBULAR_150W	8727900950977	002577/2013	150	16890	112,0	32000
PHILIPS	PHILIPS	TUBULAR	TUBULAR_250W	8727900951035	003497/2013	250	32310	124,0	32000

Figura 39 - Lâmpada tipo vapor de sódio com selo PROCEL
Fonte: Adaptado de (PROCEL, 2015).

REATORES ELETROMAGNÉTICOS PARA LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO

Fornecedores: 25
Produtos: 533

Atualização: 09/10/2015



FORNECEDOR	MARCA	TIPO	MODELO	CÓDIGO DE BARRA	Nº REGISTRO	POTÊNCIA DECLARADA (W)	FATOR DE POTÊNCIA	PERDAS MÁXIMAS (W)	tw°C	Δt°C
RHIL	LUMER	INTERNO	RVSI150-SP	RVSI150-SP	001039/2014	150	0,94	17	130	65
RHIL	LUMER	INTERNO	RVSI250-SP	RVSI250-SP	001039/2014	250	0,94	24	130	65

Figura 40 - Reator para lâmpada tipo vapor de sódio com selo PROCEL
Fonte: Adaptado de (PROCEL, 2015).

PROGRAMADOR DIÁRIO – SEMANAL E INTERRUPTOR CREPUSCULAR ASTRONÔMICO

Em geral, os sistemas de IP são acionados de forma automática ao pôr-do-sol, e desligados ao amanhecer, respectivamente, através de fechamento e abertura de relé fotoelétrico. Entretanto, como foi mencionado na Subseção 3.3.3, estes equipamentos são suscetíveis à falha, e podem comprometer o funcionamento adequado do sistema de IP. Desta maneira, técnicas de acionamento e desligamento que dispensem detectores de luminosidade, garantem ao sistema maior confiabilidade de funcionamento. Além disso, equipamentos que possibilitam determinar o tempo de funcionamento de um circuito do sistema de iluminação, permite ao usuário estimar o consumo de energia elétrica.

Um equipamento que pode ser utilizado no emprego desta técnica é o relé horário da fabricante SIEMENS (modelo - 7LF4512). Este relé permite o acionamento ou desligamento de equipamentos elétricos nos horários e dias da semana, em ciclos diários ou semanais, através de suas funções pré-programáveis. Todas as programações são acessíveis através do teclado frontal do aparelho e as indicações de dia, hora e estado do relé são feitas através do display LCD. O modelo possui dois (2) módulos de saída, com um (1) contato normal aberto (NA) e um (1) contato normal fechado (NF) cada, que possibilitam comando distinto de dois (2) circuitos.

Outro equipamento que possibilita o acionamento e desligamento de sistemas de iluminação em horário pré-determinado é o Interruptor crepuscular astronômico da fabricante SCHNEIDER ELECTRIC (modelo IC ASTRO 2C -

CCT15243). Este dispositivo assemelha-se ao relé horário descrito anteriormente na quantidade de módulos de saída disponíveis, nas funções pré-programadas e na interface de configuração. O que o difere, é a possibilidade de se ajustar as coordenadas geográficas e o fuso-horário local no interruptor crepuscular. Dessa maneira, o acionamento e desligamento ocorre no horário exato do pôr-do-sol e do amanhecer, respectivamente. O equipamento pode ser programado no dispositivo ou via *software* em computador, e transmitido ao dispositivo através de chave de programação. A Figura 41 exibe os equipamentos citados anteriormente.



Figura 41 - Programador horário e interruptor crepuscular astronômico
Fonte: Adaptado de (SIEMENS; SCHNEIDER ELECTRIC, 2015).

As configurações disponíveis nestes equipamentos possibilitam uma combinação diferenciada no funcionamento das lâmpadas. Em cenários caracterizados como praças ou calçadas por exemplo, onde o trânsito de pedestres é intermitente. O uso do relé horário ou do interruptor crepuscular astronômico, possibilita reduzir o número de luminárias acesas, a partir de horários e dias da semana em que o fluxo de pedestres é reduzido. Para isso, deve-se avaliar a variação da intensidade do trânsito de pedestres para determinar os horários e dias possíveis para desligamento das luminárias. O projeto do sistema de IP deve possibilitar a alternância de acionamento entre as luminárias, através do uso de disjuntores e contadores. Em ambos dispositivos, existe ainda uma função para habilitar a mudança automática no horário de verão/inverno.

Em cenários onde é possível emprego destes dispositivos, pode-se economizar energia, através do acionamento intercalado de luminárias dispostas em

circuitos distintos. Através de programação do relé pelo usuário, por exemplo, seria possível retardar o acionamento de metade do número de luminárias por um período de uma hora, e adiantar o desligamento da outra metade de luminárias em uma hora. Essa configuração representa uma redução de uma hora no consumo de potência total do circuito. Ou seja, já que metade da carga permanece desligada por uma hora no início da operação, e outra metade é desativada uma hora antes do encerramento do funcionamento do sistema de IP, há uma redução do período de funcionamento do sistema de uma hora.

Partindo da premissa que é possível utilizar os equipamentos para restrição do horário de funcionamento nos cenários estudados, apresenta-se a Tabela 32, com a redução o consumo diário e o custo anual de cada cenário levando-se em consideração a redução de tempo de funcionamento.

Tabela 32 - Consumo diário e gasto anual em consumo de energia elétrica

Potência por cenário (Watts)				
Período de consumo diário (horas)	1	2	3	4
		5480	5600	6440
Consumo diário (kW.h)				
12	65,76	67,2	77,28	890,4
11	60,28	61,6	70,84	816,2
10	54,8	56	64,4	742
Redução (horas)	Custo anual estimado (R\$/ano) (0,41026 R\$/kW.h)			
	0	9847,22	10062,86	11572,29
1	9026,62	9224,29	10607,93	122221,79
2	8206,02	8385,71	9643,57	111110,72

RELÉ FOTIMER

O relé Fotimer da empresa EXATRON (modelo RTTØMP), é um relé fotoelétrico temporizador, que possibilita alterar o tempo de funcionamento da carga, variando de uma a doze (12) horas e a regulação de luminosidade entre três (3) e quarenta (49) lux, ajustáveis através de trimpot.

ANEXOS

CENÁRIO 1:

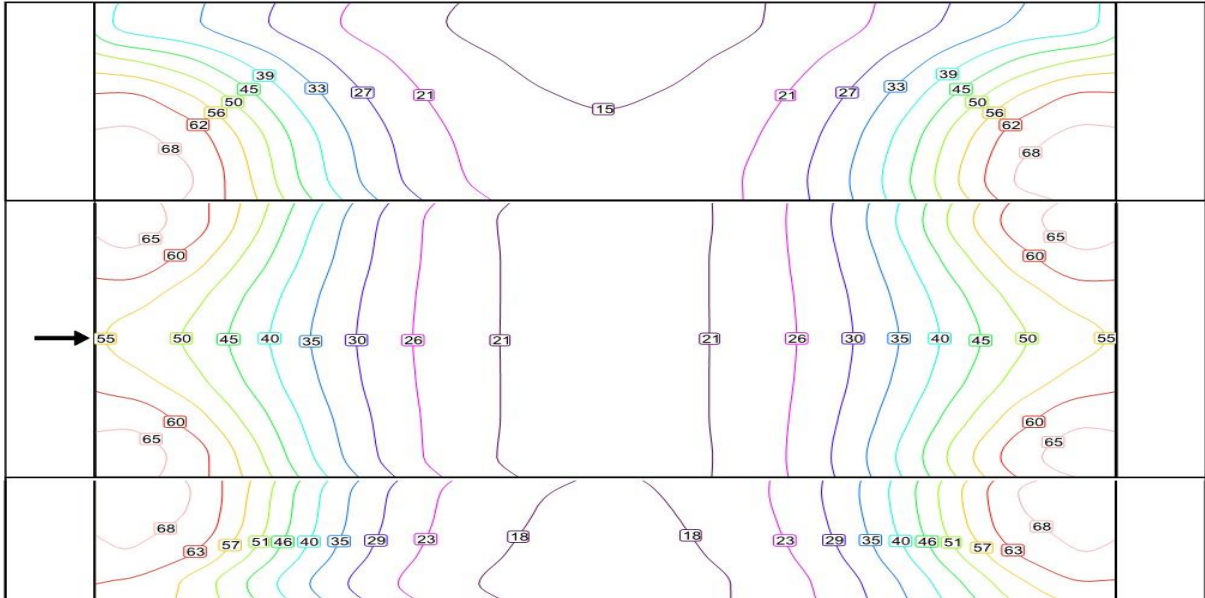


Figura 42 - Detalhamento das curvas isolux do cenário 1

Solução 1:

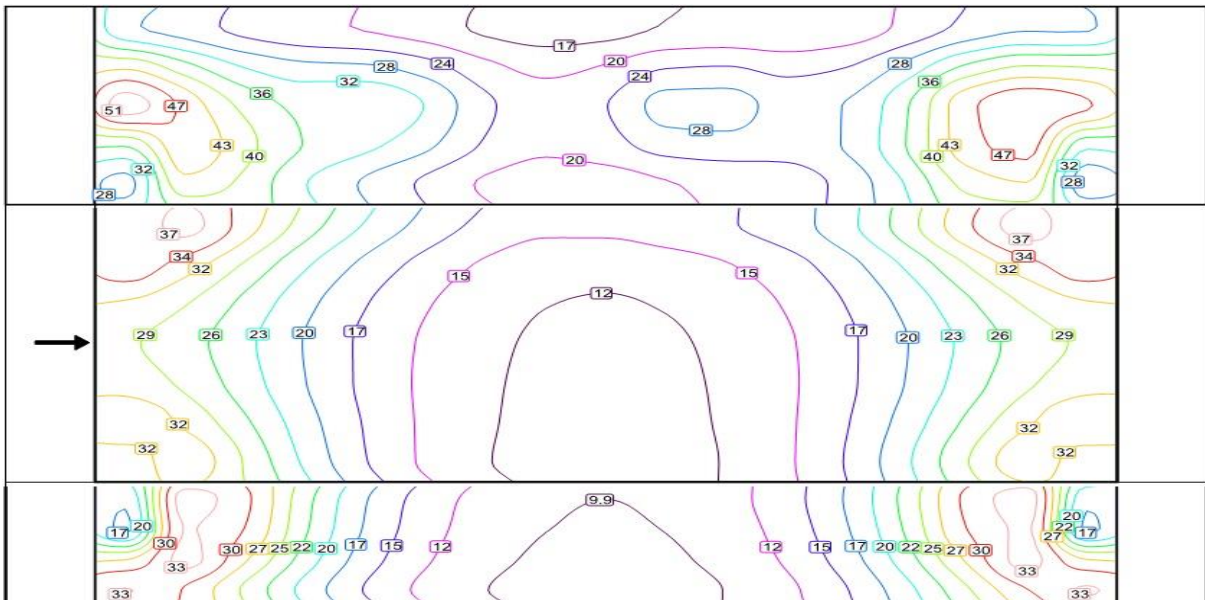


Figura 43 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, cenário 1

Solução 2:

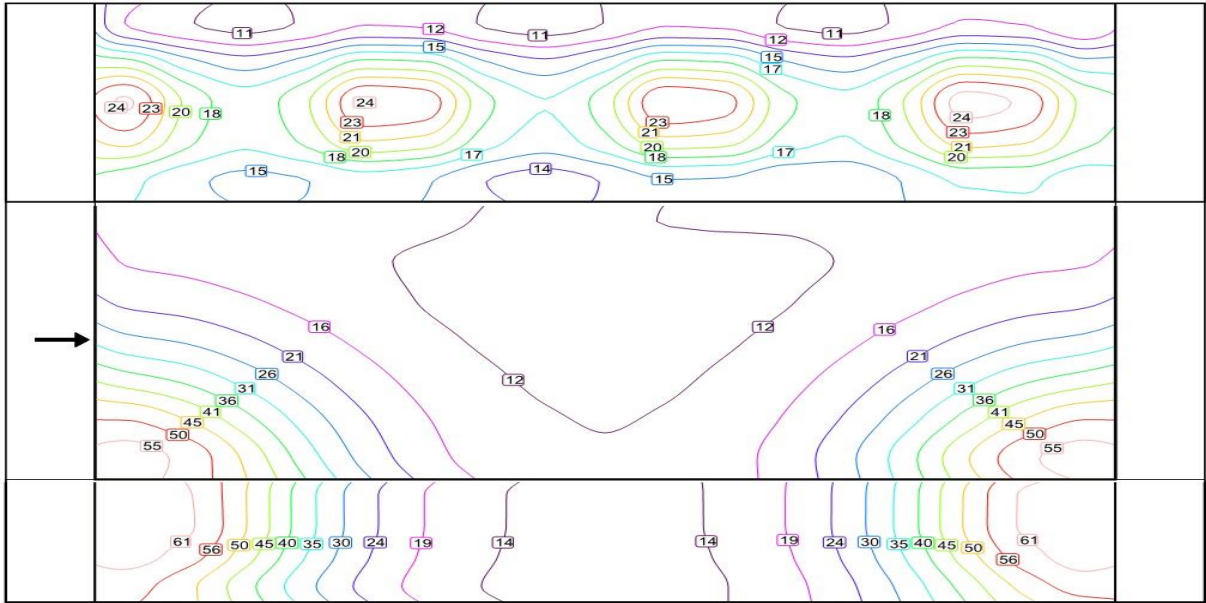


Figura 44 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, cenário 1

Solução 3:

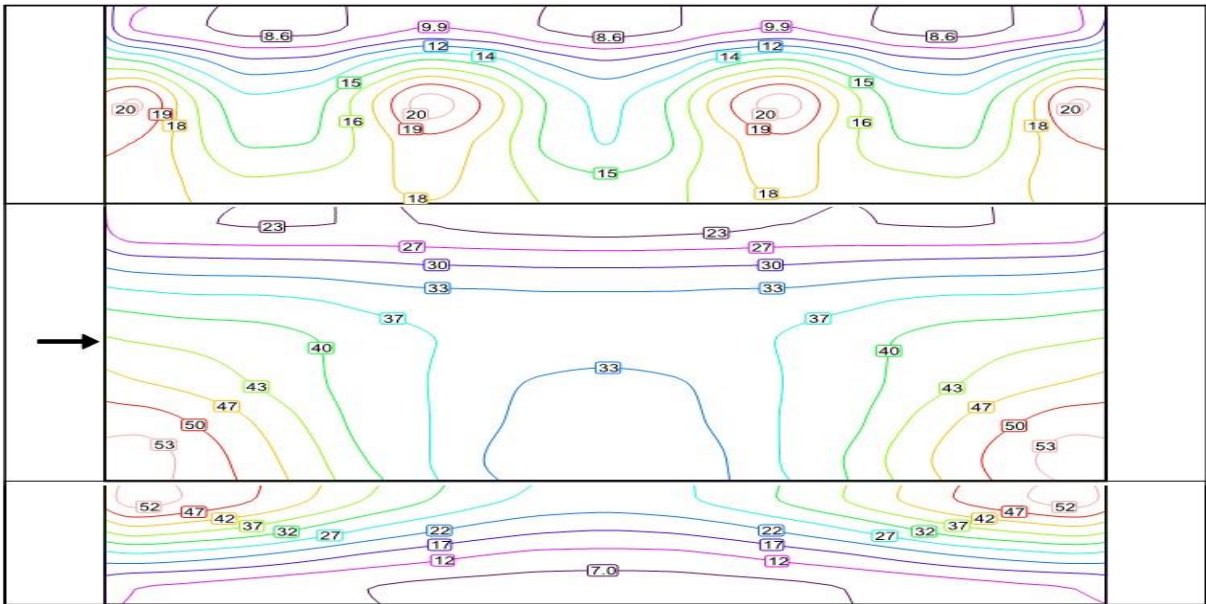


Figura 45 - Detalhamento das curvas isolux para solução 3, cenário 1

CENÁRIO 2:

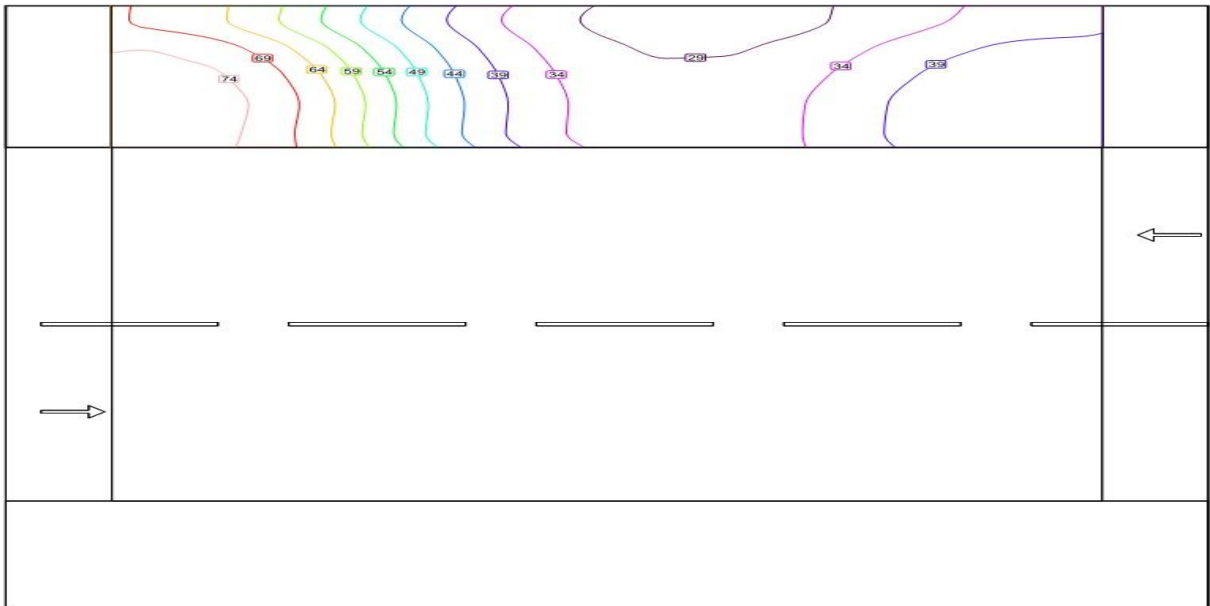


Figura 46 - Detalhamento das curvas isolux $VP_{(1)}$ do cenário 2

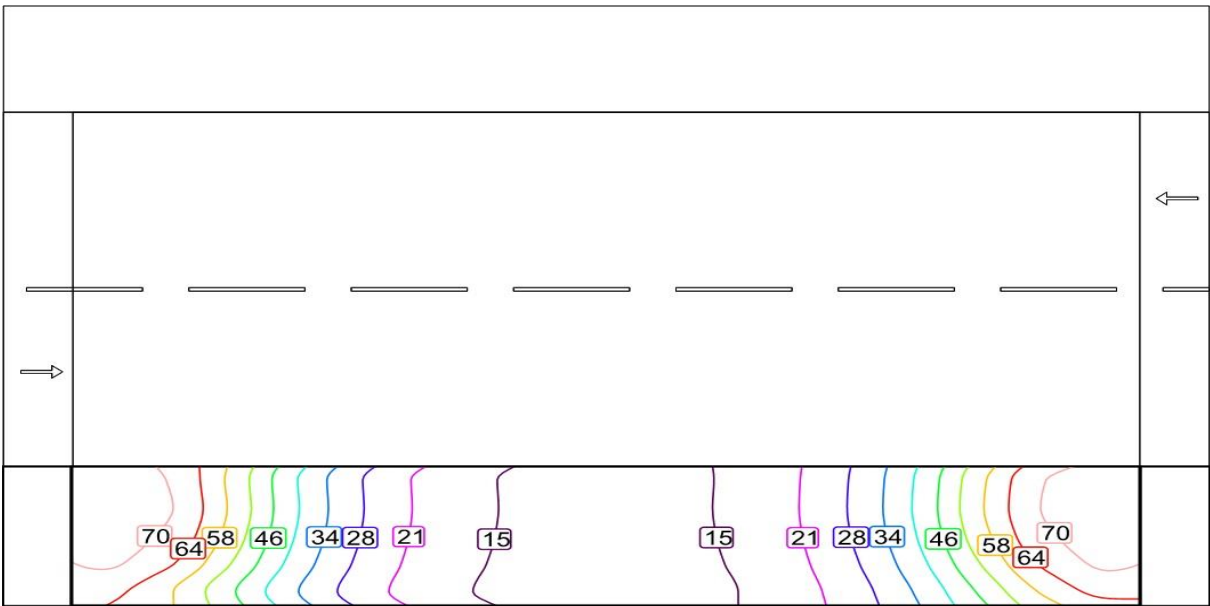


Figura 47 - Detalhamento das curvas isolux $VP_{(2)}$ do cenário 2

Solução 1:

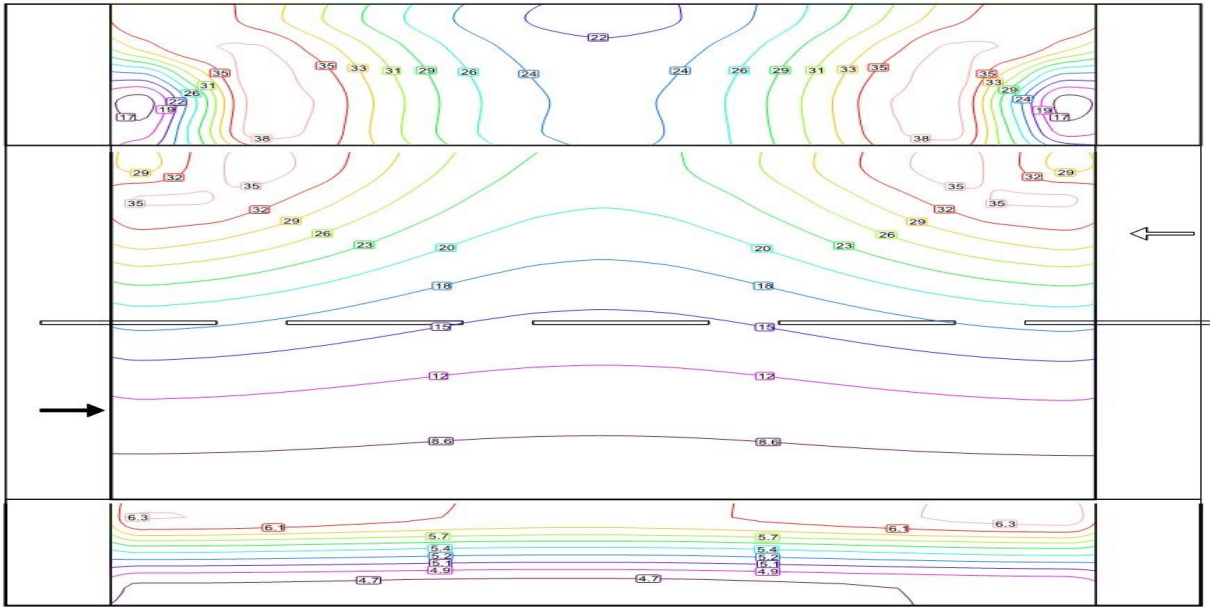


Figura 48 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, VP₍₁₎ do cenário 2

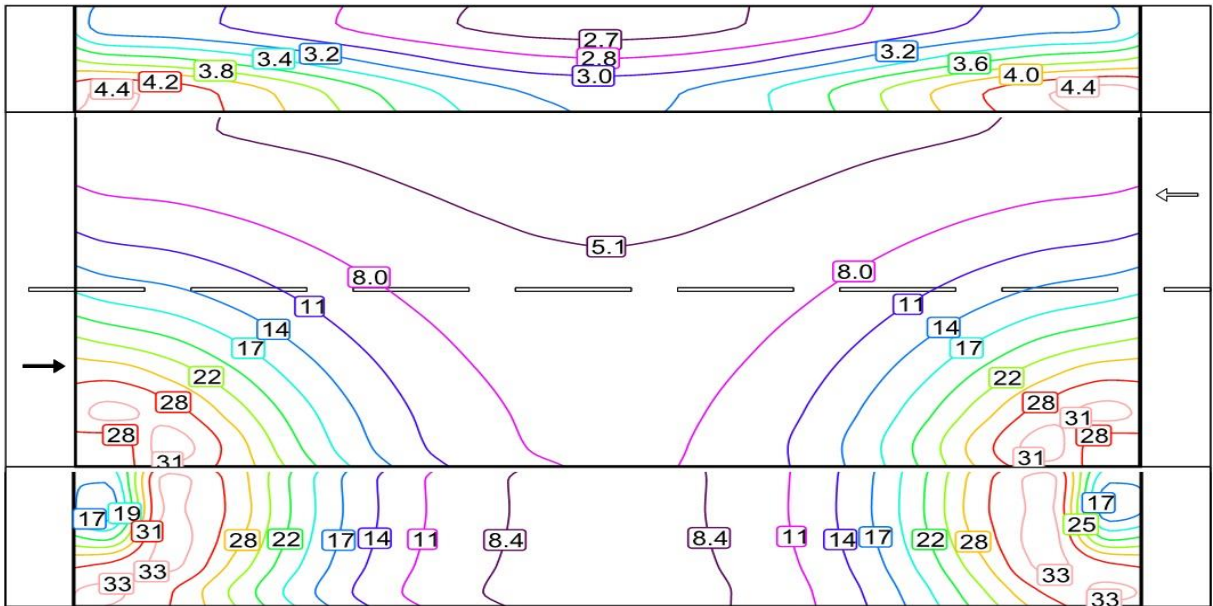


Figura 49 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, VP₍₂₎ do cenário 2

Solução 2:

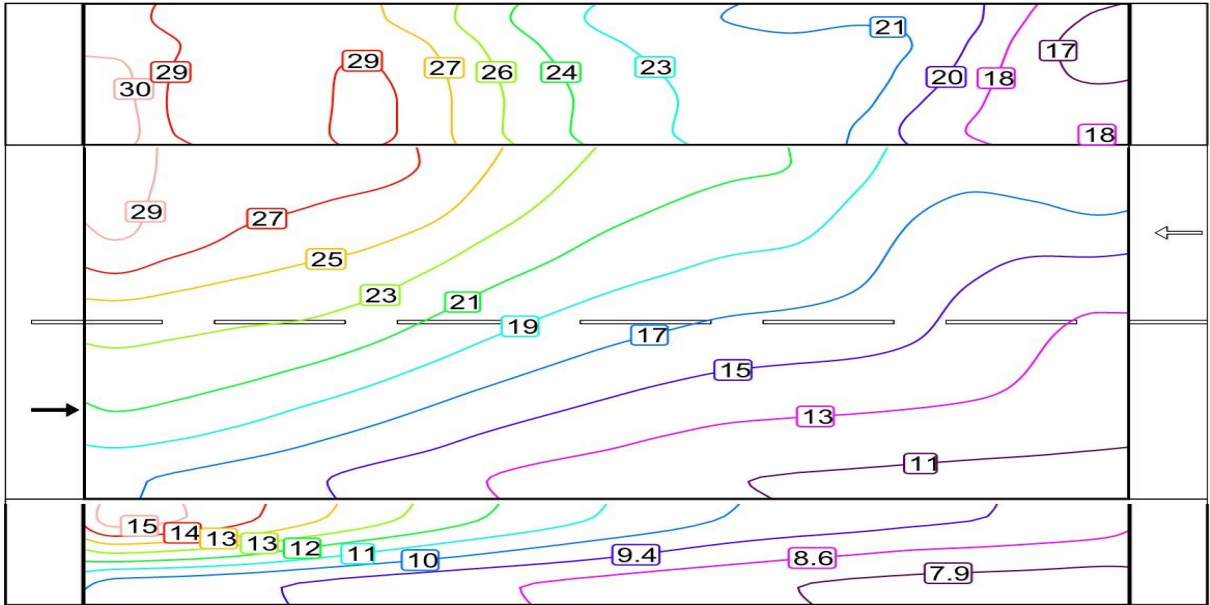


Figura 50 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, VP₍₁₎ do cenário 2

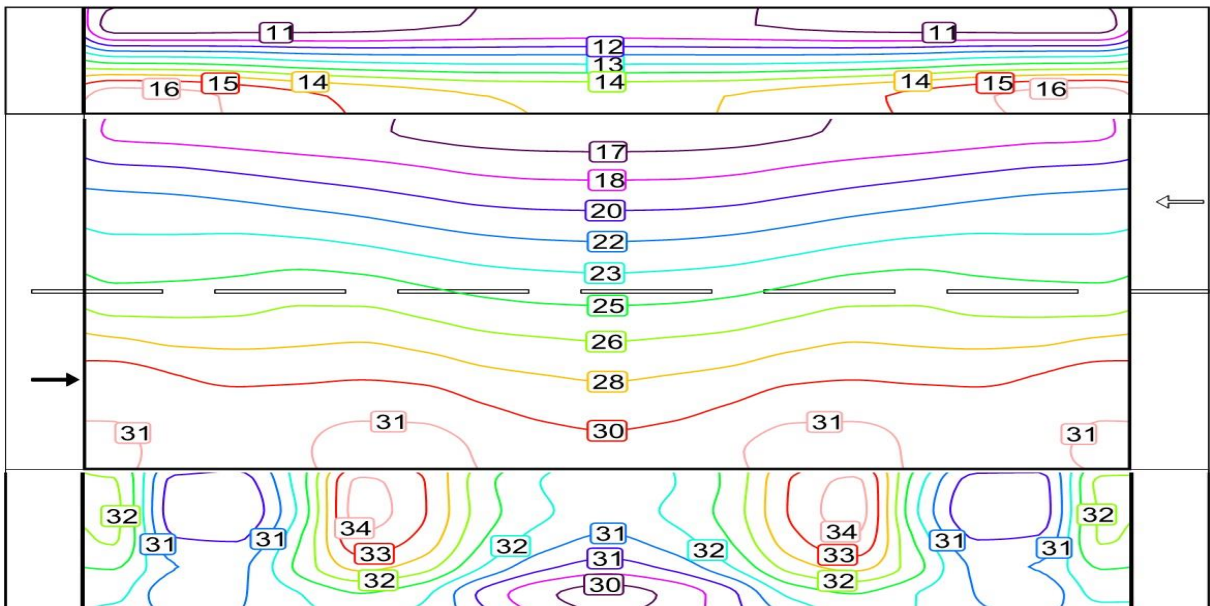
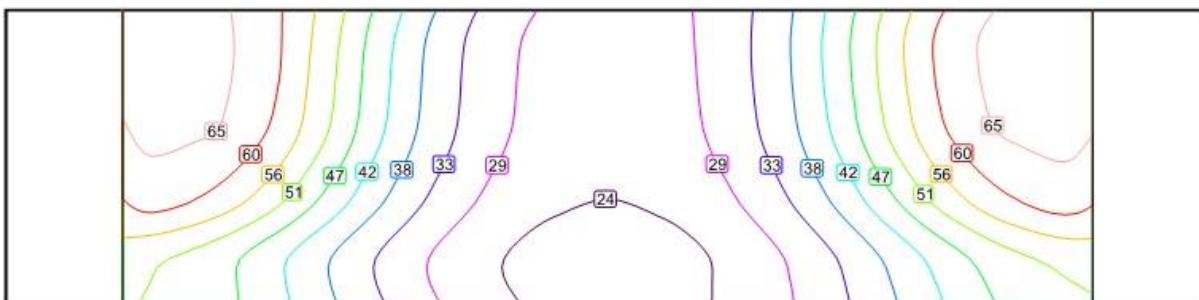
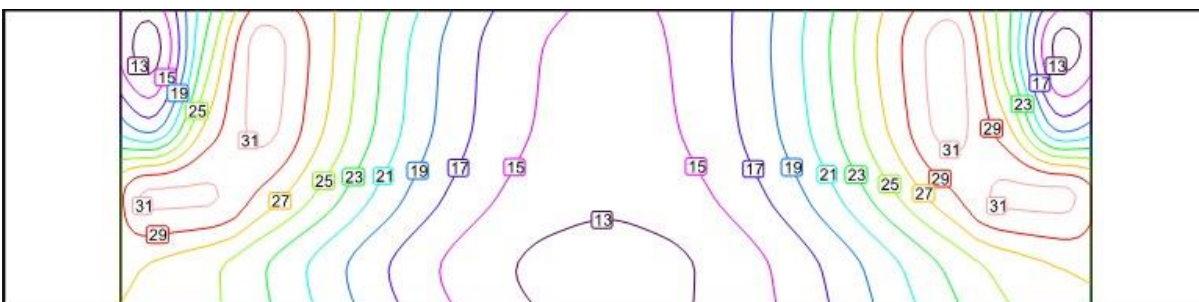
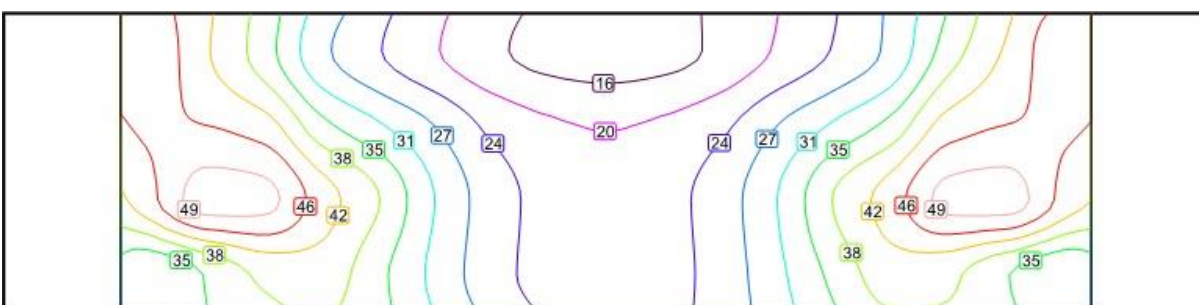


Figura 51 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, VP₍₂₎ do cenário 2

CENÁRIO 3:**Figura 52 - Detalhamento das curvas isolux, $VP_{(1)}$ do cenário 3****Figura 53 - Detalhamento das curvas isolux para solução 1, $VP_{(1)}$ do cenário 3****Figura 54 - Detalhamento das curvas isolux para solução 2, $VP_{(1)}$ do cenário 3**

CENÁRIO 4:

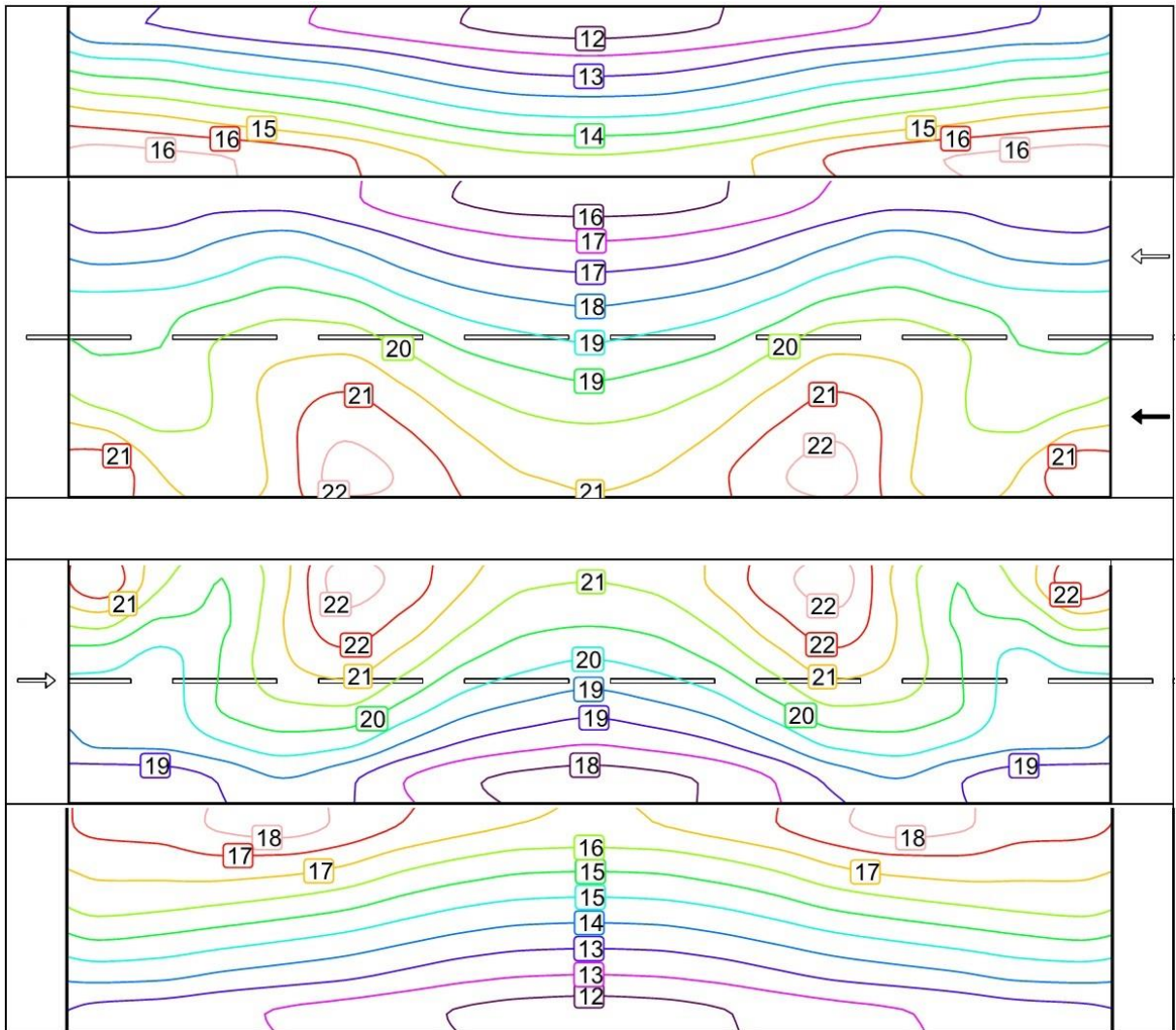


Figura 55 - Detalhamento das curvas isolux para solução do cenário 4