

IDSIP – PROPOSTA DE INDICADOR DE DESEMPENHO EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

IDSIP – A PROPOSAL OF PUBLIC LIGHTING SYSTEMS' PERFORMANCE INDEX

¹*Marconi Pereira Fardin

²Janaina Carneiro Marques

³Marcio Almeida Có

¹Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: marconifardin@gmail.com.

²Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: jmarques@ifes.edu.br.

³Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: marcio@ifes.edu.br.

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 29/01/2021, aceito em 23/08/2021 e publicado em 08/09/2021.

Resumo: O presente trabalho compreende o desenvolvimento de um indicador de desempenho a ser empregado na avaliação de sistemas de iluminação pública - IDSIP, que considera, além do consumo energético, a qualidade da iluminação empregada em vias públicas. Nesse sentido, é fundamental ampliar a discussão sobre as funções da iluminação urbana, que ultrapassam o tráfego de veículos e a sensação de segurança, visto que a iluminação artificial noturna também tem a função de tornar cidades reconhecíveis, de proporcionar situações de apreciação e percepção do espaço urbano, de valorizar patrimônios relevantes da cidade, de retratar sua história por meio de percursos, e assim promover o turismo, o lazer, o comércio e a cultura. O IDSIP considera parâmetros de iluminância, uniformidade, índice de reprodução de cores, consumo energético, compatibilização com a arborização, uso de dispositivos de controle de fluxo e acionamento, possibilitando aos gestores públicos a realização de melhores investimentos. Após o desenvolvimento do indicador, sua aplicação foi validada por meio de simulações em vias públicas do município de Vitória - ES, concluindo que a relação lumens por Watt não deve ser o único parâmetro empregado na avaliação de desempenho de sistemas de iluminação pública. Demonstrou que uma melhor distribuição dos pontos de iluminação somada a uma distribuição fotométrica adequada do equipamento utilizado e ao correto dimensionamento da potência e do fluxo luminoso das fontes de luz são mais eficientes energeticamente e prestigiam também os aspectos qualitativos da iluminação do espaço urbano.

Palavras-chave: iluminação pública, eficiência energética, indicador de desempenho.

Abstract: This work develops a performance indicator to be used in the evaluation of public lighting systems - IDISP that treat, in addition to energy consumption, the quality of lighting of public roads. Therefore, it is essential to broaden the discussion on the functions of urban lighting, which goes beyond vehicle traffic and the feeling of safety, in view of artificial night lighting also has the function of making cities recognizable, of providing possibilities for appreciation and perception of the urban space, of valuing the city's relevant heritage, of portraying its history through routes, and thus promoting tourism, leisure, commerce and culture. Considering illuminance parameters, uniformity, index of reproduction of cores, energy consumption, compatibility with afforestation, use off low control and trigger devices, enabling public managers to make better investments. After the development of the indicator, its application was validated through simulations on public roads in the city of Vitória-ES, concluding that

the lumens per Watt ratios should not be the only parameter used in the performance evaluation of public lighting systems. It demonstrated that a better distribution of lighting points added to an adequate photometric distribution of the equipment used and the correct sizing of the power and luminous flux of light sources are more energy efficient and also favor the qualitative aspects of urban space lighting.

Keywords: public lighting, energy efficiency, performance index.

1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, com a crise provocada pelas altas nos preços de petróleo, pesquisas sobre o uso eficiente de energia ganharam força. Em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio 92, a ONU propôs ao planeta repensar o desenvolvimento econômico e encontrar formas de diminuir a utilização de recursos naturais insubstituíveis e a poluição no planeta. Diversas conferências se sucederam a Rio 92 transformando a proposta no documento ‘Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável’ onde são mescladas as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental (KITA, 2018).

Sensibilizados pelas conferências da ONU, diversos setores da sociedade passaram a incorporar os preceitos publicados às suas diretrizes e políticas levando o conceito de eficiência energética para além do seu conceito físico de razão entre a energia necessária para realização de um processo e a energia que de fato foi utilizada.

Nesse sentido, a construção civil incorpora conforto à definição de eficiência energética como se constata a seguir:

“A *Eficiência Energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante do seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia*” (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014, p. 5).

Assim, buscando sistematizar e normatizar parâmetros para eficiência energética nas edificações, foram desenvolvidos diversos sistemas de

classificação, podendo citar o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) no Brasil, o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) nos Estados Unidos, *Haute Qualité Environnementale* (HQE) na França e o *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM) no Reino Unido (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Na iluminação pública, o grande esforço visando eficiência energética se deu primeiramente, na década de 70, através da substituição das lâmpadas incandescentes e mistas por lâmpadas mais eficientes de vapor de mercúrio. No final dos anos 90 foi a vez da iluminação de vapor de sódio se tornar a opção mais eficiente e atualmente o LED está ocupando este espaço.

A norma brasileira que trata de requisitos para a iluminação pública estabelece como principal objetivo para esse sistema “proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável” (ABNT, 2018, p. vii), entretanto, a função da iluminação do espaço urbano noturno vai além da segurança, incluindo funções sociais e econômicas mais amplas tendo sua evolução, diretamente ligada com o crescimento da utilização do espaço urbano noturno (IRSYAD e NEPAL, 2016; MASCARÓ, 2006;)

Destarte, a iluminação urbana também deve ter a função de tornar cidades reconhecíveis, de proporcionar situações de apreciação e percepção do espaço urbano. Possui a propriedade de valorizar patrimônios importantes da cidade, de retratar sua história por meio dos percursos e assim promover o turismo, o lazer, o comércio e a cultura (FERNANDES, 2017).

No entanto, é comum a silhueta de cidades desaparecerem à noite. Em termos estéticos, a iluminação pública, com algumas exceções, tem se apresentado incoerente e incompleta e não leva em consideração componentes do espaço urbano, mostrando-se uniforme, pouco refinada, com problemas de poluição luminosa e sombras indesejáveis sobre as calçadas, gerando a impressão de insegurança física e psicológica aos pedestres. Isso se deve principalmente por esse setor priorizar a escala do automóvel e os aspectos quantitativos da iluminação, em detrimento da escala humana e dos aspectos qualitativos (MASCARÓ, 2006; FERNANDES, 2017).

No que diz respeito ao consumo energético, entre 2016 e 2020, no Brasil, a iluminação pública representou em média 3,28% do total de energia elétrica consumida (BRASIL, 2021). Esse consumo relativamente menor, quando comparado com o consumo residencial ou industrial, por vezes, reduz a atenção em ações, pesquisas e políticas públicas para essa temática (SALVIA, BRANDLI, FILHO, 2019).

Na iluminação de vias públicas, as certificações são ainda incipientes, iniciando no Brasil com a Portaria 20 de 2017 do INMETRO (2017), limitando-se a analisar a relação de fluxo luminoso emitido por energia consumida e sendo avaliada isoladamente componente a componente sem levar em consideração no conjunto do sistema, como observada nas avaliações de edificações.

O PROCEL, que promove a redução nos custos de investimento do setor energético brasileiro, através do subprograma para iluminação pública, o Reluz, estimula o uso de tecnologias mais eficientes na iluminação pública (CARUZZO; NOGUEIRA, 2015), porém o mesmo fomenta apenas a substituição de equipamentos e não o desenvolvimento de um novo projeto de iluminação. Avalia como benefício, para classificação das

propostas, apenas a redução do consumo de energia.

É perceptível a ausência de um indicador que possa orientar o desenvolvimento de projetos de iluminação de vias públicas objetivando o aumento do desempenho energético e da qualidade. Somado a isso, constata-se que boa parte dos municípios brasileiros, responsáveis pela gestão da iluminação pública, conforme estabelecido na Resolução 414 de 2010 da Aneel, não possuem corpo técnico preparado para planejar, projetar, implantar e manter os sistemas de iluminação utilizando o conceito ampliado de eficiência.

Nesse sentido, esse trabalho busca contribuir com essa discussão na medida em que propõe um indicador de eficiência energética para iluminação pública, alinhada com conceitos de sustentabilidade por meio de estudos, análises e validação em sistemas viários do município de Vitória/ES. O indicador proposto inclui a iluminância, a uniformidade e a capacidade de reprodução de cores, além do consumo energético no propósito de orientar a elaboração de projetos de sistemas de iluminação pública melhorando o desempenho energético e a qualidade, acompanhando a tendência utilizada nas certificações de sustentabilidade de edificações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Quando se considera a avaliação de sistemas de iluminação pública boa parte dos trabalhos buscam analisar o impacto no consumo de energia elétrica e custo de implantação na substituição de equipamentos, (KRUGER, RAMOS, 2016; SALVIA, BRANDLI, FILHO, 2019). Outros, incluem nas análises, a redução na emissão de dióxido de carbono resultante da troca de equipamentos e da substituição por fontes de energia mais limpas (MOLINA-MORENO *et al.*, 2018). Em Djuretic (2018) e Pagden (2020), além da proposta da substituição de equipamentos, analisa-se,

também sobre aspecto econômico, a redução do tempo de funcionamento do sistema. Petritoli *et al.* (2019) tratam de sistemas inteligentes associados ao retrofit na busca de adaptações ao sistema de iluminação por meio do monitoramento e controle do uso das fontes de luz.

Em Dantas (2015) a criação de índice de desempenho para sistemas de iluminação pública foi apresentada, entretanto limitou-se a analisar o desempenho energético sem levar em consideração a qualidade da iluminação avaliada. Tal limitação também ocorre na avaliação dos programas de eficiência energética para iluminação pública (PROCEL, 2019) que utilizam apenas a redução de consumo para classificar os projetos apresentados.

Rabaza *et al* (2013) apresentam um método de projeto que relaciona a iluminância média, espaçamento entre luminárias e altura de montagem através de um algoritmo para otimizar eficiência energética e uniformidade. Este trabalho mostra que existem outros fatores determinantes em um projeto eficiente de iluminação pública que precisam ser avaliados.

Assim, com o intuito de buscar outros elementos na proposição de um indicador, de uso simples, para avaliação de desempenho de sistemas de iluminação que considerem também a qualidade, descreve-se a seguir parâmetros e aspectos relevantes a serem considerados:

- **Iluminância (E):** medida da densidade de intensidade luminosa incidente em um ponto medida em lux. A norma NBR 5101 (ABNT, 2018) define como parâmetro de avaliação de um sistema a Iluminância média ($E_{MÉD}$) que se dá pela média aritmética das iluminâncias de uma determinada área e define a Iluminância Média Requerida (E_R) para cada tipo de via. Tal medida é reflexo do fluxo luminoso das luminárias instaladas e sua quantidade.

- **Uniformidade (U):** A uniformidade é a principal métrica qualitativa do sistema de iluminação pública. A norma (ABNT,

2018) define a uniformidade como a relação entre a Iluminância Mínima (E_{MIN}) pela Iluminância Média ($E_{MÉD}$) de determinada área e indica níveis de Uniformidades Mínimas a serem atingidas em cada determinado tipo de via. Tal medida é influenciada basicamente pela distribuição das luminárias no espaço a iluminar e sua distribuição fotométrica.

- **Potência instalada (P):** medida da energia consumida por todos componentes do sistema em análise por unidade de tempo, sendo eles lâmpadas, reatores, ignitores, capacitores, leds e drivers, medida em Watts. Tal medida é reflexo direto da potência das luminárias instaladas e sua quantidade.

- **Índice de Reprodução de Cor-IRC:** Representa a qualidade em que as cores são reproduzidas, quando iluminadas pela fonte de luz variando de 0 a 100. É uma característica intrínseca da fonte luminosa sendo considerado inferiores a 25 para luminárias vapor de sódio, de 40 a 55 para luminárias vapor mercúrio, em torno de 60 para lâmpadas mistas, de 65 a 80 para lâmpadas vapor metálico e superiores a 80 para lâmpadas Led e próximo a 100 para lâmpadas incandescentes (BARBOSA; ALMEIDA; PACHECO, 2004).

- **Temperatura de Cor (K):** A temperatura de cor expressa a aparência de cor da luz emitida por uma fonte. Segundo MARTAU, (2009) é inegável a influência da iluminação artificial no sistema biológico e a supressão da produção de melatonina por iluminações com temperatura de cor mais elevada. Existem estudos que tratam da influência da temperatura de cor no ciclo circadiano e desenvolvimento de vegetais (COSTA, 2006). Portanto, um parâmetro a ser explorado quando se pensa em qualidade de sistemas de iluminação.

- **Poluição luminosa:** Segundo o normativo vigente para iluminação pública, a NBR 5101 (ABNT, 2018) a poluição luminosa é o brilho noturno no céu, provocada pela luz artificial mal direcionada, que é refletida na poeira, vapor

de água e outras partículas dispersas na atmosfera. No caso da iluminação pública, a poluição luminosa ocorre nos projetos com níveis de iluminância superdimensionados não condizentes com a iluminação recomendada nesta norma ou por luminárias sem o correto controle de dispersão de luz.

- **Compatibilidade com a arborização:** A compatibilidade com a arborização visa orientar a distribuição e poda de árvores com o objetivo de desobstruir a iluminação na via através da retirada de galhos do cone de iluminação útil emitido pela luminária.

- **Dispositivos de Controle e Acionamento (Telegestão):** Dispositivos de controle remoto da iluminação pública permitem o monitoramento do estado da luminária e controle de fluxo luminoso de acordo com a necessidade da via impedindo o desperdício de energia no momento do acionamento, desligamento e mudança na classificação da via devido a mudança no fluxo de veículos de pedestres no decorrer da noite.

- **Plano Diretor de Iluminação:** São instrumentos de gestão da iluminação pública com objetivo de apontar as diretrizes para as intervenções na iluminação pública da cidade, definindo parâmetros de qualidade levando em consideração as particularidades culturais e sociais da cidade

3. PROCESSOS METODOLÓGICOS

Para avaliar as características de um sistema iluminação de vias públicas esse trabalho apresenta e valida um indicador, de uso simples, que considera parâmetros de eficiência energética e de qualidade da distribuição de luz por meio do somatório de pontos com suas respectivas ponderações que caracterizam o sistema incluindo parâmetros de qualidade.

Para buscar, nesse momento, uma ferramenta de uso simples, não fez parte do escopo do indicador proposto a avaliação

das uniformidades globais e longitudinais, do ofuscamento e da temperatura da cor.

3.1. Iluminância Média (EM)

O atendimento aos índices de iluminância média é um pré-requisito fundamental de um sistema de iluminação pública, portanto, além de avaliativo, este item também é considerado habilitatório para aplicação do mecanismo de classificação proposto. Portanto, caso o sistema de iluminação sob análise não atenda ao nível mínimo de iluminância média proposto pelo normativo, seja ele a norma regulamentadora ABNT NBR 5101 ou Plano Diretor de Iluminação Pública aprovado pelo município, não cabe classificar o mesmo através do mecanismo proposto.

Esta métrica avaliará o sistema quanto ao nível de iluminação atingido. Para isso, considerou-se o valor definido em norma, para veículos e para pedestres, como o alvo a ser atingido, com tolerância superior de até 20%. A pontuação para esse parâmetro decresce à medida que o valor de iluminância se torna superior ao estabelecido, contemplando também, dessa forma, uma avaliação da poluição luminosa.

O Quadro 1 apresenta a pontuação a ser aplicada a iluminância média para a área de pedestres e para a área de veículo, totalizando, portanto, para esse parâmetro o máximo de 10 pontos. Deverá ser considerada a iluminância média de toda faixa de circulação de veículos e toda faixa para circulação de pedestres do trecho da via objeto do estudo.

Quadro 1 - Pontuação de acordo com a iluminância média (EM)

Valores definidos em norma até 20% superiores	5 pontos
Valores superiores ao definido em norma de 20% até 40%	4 pontos
Valores superiores ao definido em norma de 40% até 60%	3 pontos
Valores superiores ao definido em norma de 60% até 80%	2 pontos
Valores superiores ao definido em norma de 80% até 100%	1 pontos

Valores superiores aos definidos em norma em mais de 100%	0 pontos
---	----------

Fonte: Própria.

3.2. Uniformidade (U)

Seguindo a premissa de atender ao normativo vigente, os requisitos da norma quanto a uniformidade também são habilitatórios para aplicação da classificação proposta.

Esta métrica avaliará a forma de distribuição da iluminação que é uma das premissas métricas de conforto de um sistema de iluminação pública.

Foi estabelecida a pontuação para a uniformidade conforme Quadro 2. Ou seja, um ponto a cada dois décimos de uniformidade atingida, chegando ao máximo de 10 pontos o sistema que atingir uniformidade superiores a 80% para a faixa de veículos e de pedestres.

Quadro 2 - Pontuação de acordo com a uniformidade.

Valores superiores a 0,8	5 pontos
Valores inferiores ou iguais a 0,8 e superiores a 0,6	4 pontos
Valores inferiores ou iguais a 0,6 e superiores a 0,4	3 pontos
Valores inferiores ou iguais a 0,4 e superiores a 0,2	2 pontos
Valores inferiores ou iguais a 0,2	1 pontos

Fonte: Própria.

3.3. Eficiência Luminosa Global

Visando avaliar consumo energético do sistema de iluminação sob estudo, optou-se por criar o parâmetro de Eficiência Luminosa Global (E_{LG}), sendo esta definida como a razão entre o somatório dos produtos das áreas a serem atendidas (A) pela iluminância média requerida (E_R) para cada área, pela potência instalada (P_I), conforme equação (1).

$$E_{LG} = \frac{\sum A \times E_R}{P_I} \quad (1)$$

Esta métrica avalia a eficiência do equipamento utilizado juntamente com o correto aproveitamento do seu fluxo luminoso e dimensionamento para atendimento a iluminância requerida. A

necessidade do somatório do produto $E_R \times A$ se dá pela possibilidade de existir, em uma única via, diferentes iluminâncias requeridas, como por exemplo para calçadas, e faixas de rolamento.

Considerando a ocorrência de perda de fluxo luminoso com a iluminação de áreas externas da via pública e com a depreciação do fluxo luminoso, optou-se em pontuar com valor máximo o sistema que alcançar valores superiores a 50 Lm/W de eficiência luminosa global, decrescendo dois pontos a cada 10 lm/W perdidos em aproveitamento, conforme apresentado no Quadro 3. Essa faixa de valores apresentada teve como referências avaliações empíricas de sistemas reais da base de dados disponível no município de Vitória.

Quadro 3 - Pontuação segundo a Eficiência Luminosa do Sistema.

Valores superiores a 50 lm/W	10 pontos
Valores inferiores a 50 lm/W e superiores a 40 lm/W	8 pontos
Valores inferiores a 40 lm/W e superiores a 30 lm/W	6 pontos
Valores inferiores a 30 lm/W e superiores a 20 lm/W	4 pontos
Valores inferiores a 20 lm/W e superiores a 10 lm/W	2 pontos
Valores inferiores a 10 lm/W	0 pontos

Fonte: Própria.

3.4. Índice de Reprodução de Cor

Visando avaliar a qualidade da reprodução de cor do sistema projetado, optou-se por pontuar de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4 - Pontuação segundo ao índice de reprodução de cor.

Valores superiores a 80	5 pontos
Valores inferiores ou iguais a 80 e superiores a 70	4 pontos
Valores inferiores ou iguais a 70 e superiores a 60	3 pontos
Valores inferiores ou iguais a 60 e superiores a 40	2 pontos
Valores inferiores ou iguais a 40	1 pontos

Fonte: Própria.

3.5. Bonificação

Outras características também são importantes de serem avaliadas em um sistema de iluminação pública, porém, de difícil mensuração do impacto das mesmas na qualidade da iluminação atingida. Optou-se por aplicar a bonificação para sistemas que apresentem: compatibilidade com a arborização, sistema de controle automatizado do fluxo luminoso e detecção de falhas através de sistema de telegestão instalados e, plano diretor de iluminação (PDI) que garanta o atendimento a especificidades do sistema de iluminação da cidade. Sendo um ponto extra para cada um dos três itens.

O Quadro 5 a seguir resume os valores máximos estabelecidos para cada parâmetro.

Quadro 5 - Pontuação máxima para cada parâmetro.

Pontuação Máxima		Via	Calç.	Total
Iluminância Média		5	5	10
Uniformidade		5	5	10
Eficiência luminosa global (Lm/W)		10		10
IRC		10		5
B o n u s	Arborização	1		1
	Telegestão	1		1
	P. Diretor	1		1
Total máximo de pontos				38

Fonte: Própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o sistema de classificação proposto, utilizou-se simulação através do software de estudo luminotécnico (DIAL GMBH, 2018) em três locais na cidade de Vitória que passaram por melhorias recentemente, sendo duas delas classificadas de acordo com a NBR 5101 (ABNT, 2018) como V3, quanto ao tráfego de veículos, e P3, quanto ao tráfego de pedestres, e outra classificada

como V1 quanto ao tráfego de veículos, e P1, quanto ao tráfego de pedestres, para possibilitar comparações.

Então, aplicou-se a avaliação a um trecho da Rua Vitória N. da Mota, conforme ilustrado na Figura 1, classificada como V3 e P3, que possui luminárias Led, modelo NATH-S do Fabricante Tecnowatt com potência de 200 Watts com óptica RB, fluxo luminoso de 21656,26 lumens, eficiência luminosa de 108 lumens/Watt, instaladas em postes da concessionária de distribuição de energia elétrica através de braços curvos com projeção de 3m e altura de montagem de 8m distribuídos bilateralmente intercalados com distância entre postes de 30m, largura da faixa de rolagem de 12,20m divididos em duas faixas e calçadas de 3,20m em ambos os lados.

Quadro 6 - Valores obtidos na faixa de rolamento e calçada - Rua Vitória N. da Mota.

	Faixa R.	Calçada
Iluminância Média medida (Lux)	70,9	26,8
Iluminância Média requerida (Lux)	15	5
Uniformidade medida	0,53	0,61
Uniformidade mínima	0,2	0,2
IRC	>80	>80
Eficiência luminosa global	14,13 lm/W	

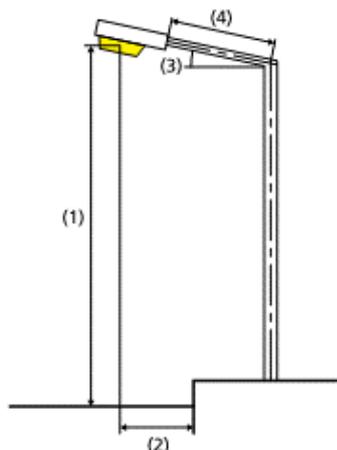
Fonte: Própria.

Conforme apresentado nos Quadro 6 a referida via atingiu as seguintes pontuações:

- Iluminância: 0 pontos
- Uniformidade: 7 pontos
- IRC: 5 pontos
- Eficiência Luminosa do Sistema: 2 pontos
- Comp. Arborização: 1 ponto
- Telegestão: 0 pontos
- PDI: 0 pontos

➤ **IDSIP = 15 de 38 pontos**

Figura 1 - Configuração de montagem na rua Vitório N. da Mota

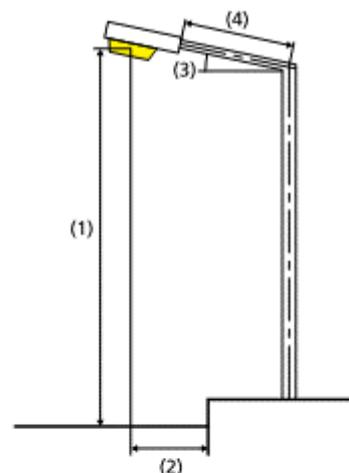


Lamp:	1x
Luminous flux (luminaire):	21656.26 lm
Luminous flux (lamp):	21656.26 lm
Operating Hours	
4000 h:	100.0 %, 199.6 W
W/km:	13173.6
Arrangement:	both sides offset
Pole distance:	30.000 m
Boom inclination (3):	0.0°
Boom length (4):	3.000 m
Light centre height (1):	8.000 m
Light overhang (2):	3.000 m

Fonte: Dialux Evo 8.1

Outra via também classificada como V3 e P3 que se aplicou a avaliação através de simulação é a Rua Chafic Murad, conforme ilustrado na Figura 2, iluminada através de luminárias Led, modelo ESAT do Fabricante Tecnowatt com potência de 115 Watts com óptica RB, fluxo luminoso de 11237 lumens, eficiência luminosa de 98 lumens/Watt, instaladas em postes da concessionária de distribuição de energia elétrica através de braços curvos com projeção de 3m e altura de montagem de 8m distribuídos bilateralmente intercalados com distância entre postes de 33m, largura da faixa de rolagem de 15m divididos em duas faixas e calçadas de 2,50m em ambos os lados.

Figura 2 - Configuração de montagem na rua Chafic Murad



Lamp:	1x
Luminous flux (luminaire):	11236.70 lm
Luminous flux (lamp):	11236.70 lm
Operating Hours	
4000 h:	100.0 %, 115.3 W
W/km:	6918.0
Arrangement:	both sides offset
Pole distance:	33.000 m
Boom inclination (3):	0.0°
Boom length (4):	3.000 m
Light centre height (1):	8.000 m
Light overhang (2):	3.000 m

Fonte: Dialux Evo 8.1

Para simulação utilizou-se fator de manutenção de 0,80 encontrando os seguintes resultados:

Quadro 7 - Valores obtidos na faixa de rolamento e Calçada - Rua Chafic Murad.

	Faixa R.	Calçada
Illuminância Média medida (Lux)	28,5	10,8
Illuminância Média requerida (Lux)	15	5
Uniformidade medida	0,44	0,61
Uniformidade mínima	0,2	0,2
IRC	>80	>80
Eficiência luminosa global	35,86 lm/W	

Fonte: Própria.

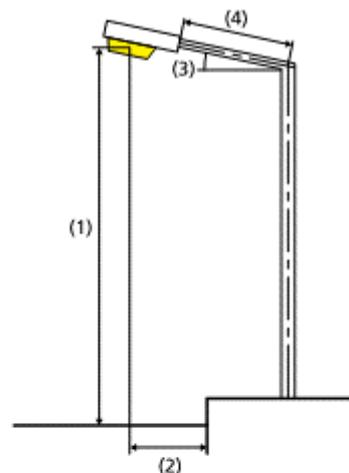
Conforme apresentado no Quadro 7 a referida via atingiu as seguintes pontuações:

- Iluminância: 1 pontos
- Uniformidade: 7 pontos
- IRC: 5 pontos
- Eficiência Luminosa do Sistema: 6 pontos
- Comp. Arborização: 1 ponto
- Telegestão: 0 pontos
- PDI: 0 pontos
- **IDSIP = 20 de 38 pontos**

Analisou-se também o trecho da Avenida Vitória, em frente ao Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (IFES) que é uma via arterial da cidade de tráfego intenso classificada como V1 e sua calçada classificada como P1 com a configuração apresentada na Figura 3. A via em questão é iluminada por luminárias modelo Beta III, do Fabricante Tecnowatt, equipadas com uma lâmpada vapor metálico, de 400W com fluxo de 38000 lumens, eficiência luminosa de 86 lumens/Watt, com reator interno com consumo estimado de 40W, instaladas em postes da concessionária de distribuição de energia elétrica através de braços curvos com projeção de 3,5m e altura de montagem de 9m distribuídos bilateralmente intercalados com distância entre postes de 30m, com duas faixas de rolagem (uma em cada sentido) com larguras de 8,70m cada divididas em três faixas, calçadas de 4,00m de largura em ambos os lados e canteiro central de 3,00m.

Para simulação utilizou-se fator de manutenção de 0,67, por se tratar de lâmpadas a vapor, encontrando os seguintes resultados:

Figura 3 - Configuração de montagem na Avenida Vitória.



Lamp:	user-defined
Luminous flux (luminaire):	27157.16 lm
Luminous flux (lamp):	38000.00 lm
Operating Hours	
4000 h:	100.0 %, 440.0 W
W/km:	22000.0
Arrangement:	both sides opposite
Pole distance:	40.000 m
Boom inclination (3):	5.0°
Boom length (4):	0.611 m
Light centre height (1):	16.000 m
Light overhang (2):	11.500 m

Fonte: Dialux Evo 8.1

Conforme apresentado no Quadro 8 a referida via atingiu as seguintes pontuações:

- Iluminância: 8 pontos
- Uniformidade: 7 pontos
- IRC: 4 pontos
- Eficiência Luminosa do Sistema: 4 pontos
- Comp. Arborização: 1 ponto
- Telegestão: 0 pontos
- PDI: 0 pontos
- **IDSIP = 24 de 38 pontos**

Como mostram os resultados, o local equipado com o equipamento mais eficiente, a Rua Vitório Nunes da Mota, apresentou o pior IDSIP. Impactou negativamente na avaliação a poluição luminosa, devido ao fluxo luminoso muito

superior ao requerido, e a baixa Eficiência Global. Já a Avenida Vitória equipada com os equipamentos menos eficientes, com baixo fator de manutenção, apresentou a melhor classificação pois, por utilizar de uma tecnologia melhor consolidada, conseguiu empregar a potência e distribuição fotométrica mais adequada à via tendo como principal destaque a iluminância apropriada à via.

Quadro 8 - Valores obtidos na faixa de rolamento e Calçada - Av. Vitória.

	Faixa R.	Calçada
Iluminância Média medida (Lux)	42,2	21,1
Iluminância Média requerida (Lux)	30	20
Uniformidade medida	0,59	0,70
Uniformidade mínima	0,4	0,3
IRC	>70	>70
Eficiência luminosa global	23,25lm/W	

Fonte: Própria

5. CONCLUSÕES

Conforme demonstrado nos resultados apresentados a simples adoção de luminárias com tecnologias mais avançadas e maiores relações lumens por Watts, não garante ao sistema uma iluminação mais adequada. Diversos fatores precisam ser analisados para se avaliar a qualidade da iluminação de vias públicas. Mostrou também que uma melhor distribuição dos pontos de iluminação somada a uma distribuição fotométrica adequada do equipamento utilizado e o correto dimensionamento da potência e do fluxo luminoso das fontes de luz, podem ser mais importantes que uma maior relação lumens/ Watts do equipamento instalado.

Os sistemas de iluminação pública são geridos pela municipalidade. Em municípios menores representam uma parcela significativa do consumo de

energia, que em sua maioria não dispõe de qualificação técnica para avaliar as proposições de substituição dos sistemas de iluminação. O desenvolvimento de ferramentas simples que auxiliam a tomada de decisão representa contribuição efetiva para o tema.

O indicador de desempenho, neste trabalho desenvolvido, apresenta um sistema de avaliação mais abrangente, onde é possível avaliar eficiência energética na iluminação pública não só sob o aspecto do consumo energético, mas também sob o aspecto da qualidade da iluminação atingida. Os parâmetros de iluminância, uniformidade, índice de reprodução de cores, consumo energético, compatibilização com a arborização, uso de dispositivos de controle de fluxo e acionamento e a existência de plano diretor de iluminação pública foram considerados. Com uma avaliação mais ampla de sistemas de iluminação é possível contribuir com as análises de modo a realizar investimentos de melhor qualidade por parte dos municípios.

Novos parâmetros podem ser incorporados ao IDSIP e serão desenvolvidos em trabalhos futuros, especialmente aqueles que tratam de influência da temperatura de cor no meio ambiente e no metabolismo humano, do desempenho dos sistemas de telegestão empregados, do ofuscamento de sistemas de iluminação, e dos limites de eficiência global. O IDSIP deve ser evolutivo, acompanhando e induzindo novos parâmetros nos requisitos técnicos de qualidade estabelecidos pelos órgãos reguladores nacionais para iluminação pública, bem como a evolução da tecnologia empregada e do conhecimento científico.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. **Nbr 5101 - Iluminação Pública - Procedimento**, 2018.

BARBOSA, R.; ALMEIDA, J. G. P. DE;

PACHECO, L. F. L. **Iluminação Pública Eficiente**. 2. ed. Eletrobras / Ibam. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL, 2021 **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 Ano base 2020**. Brasília, EPE, disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 Julho 2021

CARUZZO, A.; NOGUEIRA, L. A. H. Avaliação da eficiência energética na iluminação pública: proposta de modelagem considerando a variabilidade climática. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 4, p. 1399, 2015.

COSTA, G. J. C.; **Iluminação econômica, cálculo e avaliação**. 4ª Edição, EDIPUCRS, Porto Alegre, 2006

DANTAS C. A. P; JUNIOR F. K., Iluminação Pública e Eficiência Energética. **O Setor Elétrico**, set. 2015.

DIAL GMBH. **DIALuxevo 8**, 2018. Disponível em: <https://www.dial.de/en/blog/article/download-now-dialux-evo-81/>

DJURETIC, A.; KOSTIC, M. Actualenergysavingswhenreplacing high-pressure sodium with LED luminaires in streetlighting. **Energy** 157, p.367-378, 2018.

FERNANDES, I.P., Iluminação e sua influência no espaço urbano noturno: as impressões do usuário no processo de planejamento da luz. **Dissertação**. FAU-USP, 2017. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-13062017-114355/pt-br.php>

INMETRO, I. N. DE M. Q. E T. **Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária**. 2017.

IRSYAD, M.I; NEPAL R. A surveybased approach toestimatingthebenefitsofenergyefficiencyimprovements in streetlighting systems in Indonesia. **RenewableandSustainable Energy Reviews**,v. 58, p.1569-1577, 2016

KITA, M. F. N. Análise Da Contribuição Das Certificações Ambientais Aos Desafios Da Agenda 2030. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 27-46, 2018.

KRUGER, C.; RAMOS, L. F. Iluminação pública e efficientização energética. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 185, p. 37-49, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição, 2014

MARTAU, B. T. A luz além da visão. **Revista Lume Arquitetura**, v. v. 38, p. 54-61, 2009.

MASCARÓ, L. A Iluminação do Espaço Urbano. **Arqtexto**, v. 8, p. 20-27, 2006.

MOLINA-MORENO, V. et al. The use of led technology and biomass to Power public lighting in a local context: The case ofbaeza (Spain). **Energies**, v. 11, n. 7, 2018.

OLIVEIRA, L. K. DOS S. et al. Simulação Computacional Da Eficiência Energética Para Uma Arquitetura Sustentável. **Holos**, v. 4, p. 217, 2016.

PAGDEN, M.; NGAHANE, K.; AMIN, M. S. R., Changingthe color ofnighotonurbanstreets - LED vs. part-nightlightinig. **Socio-Economic Planning Sciences**, v 69, 2020.

PETRITOLI, A; LECCESE A.; PIZZUTI B.; PIERONI F. Smartlighting as basicbuildingblockofsmartcity: Anenergy

performance comparative case study.
Measurement, V136. P. 466-477, 2019.

PROCEL; ELETROBRAS; MME. Edital de chamada pública – 01/2019. p. 1–239, 2019.

RABAZA, O. *et al.* A simple method for designing efficient public lighting, based on new parameter relationships. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 18, p. 7305–7315, 2013.

SALVIA, A. L; BRANDLI, L. L; FILHO, W. L. An analysis of the applications of a Analytic Hierarchy Process (AHP) for selection of energy efficiency practices in public lighting in a sample of Brazilian cities. **Energy Police**, v 132, p. 854-864, 2019.