

idp

idn

MESTRADO PROFISSIONAL EM ECONOMIA

**IMPACTO DA MODERNIZAÇÃO DO SERVIÇO DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM ACIDENTES E MORTES NO
TRÂNSITO EM BELO HORIZONTE**

RICARDO SILVA ALVES

Brasília-DF, 2024

RICARDO SILVA ALVES

**IMPACTO DA MODERNIZAÇÃO DO SERVIÇO DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM ACIDENTES E MORTES NO
TRÂNSITO EM BELO HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia, do Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador

Professor Doutor Thiago Costa Monteiro Caldeira.

Brasília-DF 2024

RICARDO SILVA ALVES

IMPACTO DA MODERNIZAÇÃO DO SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM ACIDENTES E MORTES NO TRÂNSITO EM BELO HORIZONTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia, do Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Aprovado em 20 / 12 / 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Thiago Costa Monteiro Caldeira - Orientador

Prof. Dr. Leonardo Monteiro Monastério

Prof. Dr. Ricardo Marques Trevisan

Cutter Alves, Ricardo Silva
Impacto da modernização do serviço de iluminação pública em
acidentes e mortes no trânsito em Belo Horizonte / Ricardo Silva Alves. –
Brasília: IDP, 2024.

64 p.
Inclui bibliografia.

Dissertação – Instituto Brasileiro de
Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa – IDP, Mestrado Profissional em
Economia, Brasília, 2025.
Orientador: Prof. Dr. Thiago Costa Monteiro Caldeira.

1. Iluminação pública. 2. Acidentes de trânsito. 3. Investimentos. I. Título.

CDD: 330

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Ministro Moreira Alves
Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa

RESUMO

Este estudo avalia o impacto da modernização dos sistemas de iluminação pública, realizada por meio de contratos de parcerias público-privadas, sobre o número de ocorrências de acidentes trânsito no município de Belo Horizonte. O objetivo deste estudo é contribuir com evidências para apoiar decisões de políticas públicas relacionadas à iluminação pública urbana. Considerando os dados dos boletins de ocorrência de trânsito com vítima registrados Polícia Militar do Estado de Minas Gerais de 2016 a 2022, disponibilizados pela Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte, o estudo adota metodologia de diferenças em diferenças com abordagem dinâmica, tendo como grupo de tratamento trecho de vias em que houve modernização do sistema de iluminação pública. Não foram encontrados efeitos significativos e robustos de que a modernização do sistema de iluminação público levou a redução no índice de acidentes, contrário ao esperado pela literatura.

Palavras-chave: Iluminação Pública, Investimentos, Acidentes de Trânsito, diferenças-em-diferenças.

ABSTRACT

This study evaluates the impact of modernizing public lighting systems, implemented through public-private partnership contracts, on traffic safety in the Brazilian municipality of Belo Horizonte. The study aims to assess how the improvement in lighting quality, facilitated by technological modernization and efficient management models, influences the rates of traffic accidents and mortality. The goal is to provide evidence to support decisions on urban lighting-related public policies.

Keywords: Public lighting, Investments, Traffic Accidents, Difference-in-Differences.

Classificação JEL: C21, H54, J38, L94, R41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Brasileira de Energia Elétrica
ATT	Efeito do tratamento sobre os tratados
BHTRANS	Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte
BHIP	Concessionária de Iluminação Pública de Belo Horizonte
IDP	Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa
PMMG	Polícia Militar de Minas Gerais
PPP	Parcerias Público Privadas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Fatores Contribuintes Para Ocorrência De Acidentes	20
Figura 2 Funções Desempenhadas Pela Iluminação Pública	21
Figura 3 Modelo Teórico Proposto	33
Figura 4 Marcos Do Plano De Modernização	37
Figura 5 Mapa De Pontos De Iluminação	38
Figura 6 Efeitos Ocorrências Noturnas	48
Figura 7 Ocorrências Mensais Por Tratamento	49
Figura 8 Efeitos Ocorrências Noturnas Normalizadas	51
Figura 9 Efeitos Ocorrências Diurnas Normalizada	52
Figura 10 Efeitos Médios Por Grupos	53
Figura 11 Efeitos Ocorrências Noturna Por Trecho	54
Figura 12 Efeitos Ocorrências Diurnas Por Trecho	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Funções Psicológicas Ativadas No Ato De Dirigir	17
Tabela 2 Fatores Contribuintes De Acidentes	18
Tabela 3 Percepções Emocionais Do Usuário Do Espaço Urbano	22
Tabela 4 Vantagens E Desvantagens Dos Arranjos De Gestão	28
Tabela 5 Dados Dos Acidentes De Trânsito	35
Tabela 6 Marcos De Modernização	36
Tabela 7 Resultado Das Estimativas	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	12
1.2 OBJETIVO E DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DO ESTUDO	13
1.6 JUSTIFICATIVA DO TEMA: RELEVÂNCIA	14
1.7 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A INCIDÊNCIA DE ACIDENTES	17
2.2 ASPECTOS QUALITATIVOS DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA URBANA	20
2.3 GESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL.....	23
2.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	29
2.5 MODELO TEÓRICO	32
2.6 CONTRIBUIÇÃO À LITERATURA	33
3. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS	35
4. METODOLOGIA.....	41
4.1 TRATAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE DADOS.....	41
4.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO.....	43
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	61



1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Ao longo da última década, a gestão dos serviços de iluminação pública em municípios brasileiros sofreu transformações significativas. Essas mudanças tiveram como origem a Resolução ANEEL 414/2010 que determinou a transferência da titularidade dos ativos dos serviços de iluminação pública das empresas distribuidoras de energia para as administrações municipais.

Essa medida possibilitou a adoção de modelos de gestão completa da iluminação pública e incentivou a adoção de tecnologias mais eficientes em termos energéticos, pois, diferentemente das distribuidoras de energia, que não auferiam benefícios financeiros com a redução do consumo de energia, as administrações municipais passaram a buscar soluções que permitissem a redução do gasto com o fornecimento de energia para os sistemas de iluminação.

Outro fator contribuinte para a modernização dos sistemas de iluminação pública foi a difusão e redução dos custos da tecnologia LED. A adoção desta tecnologia, além de permitir a melhoria da qualidade da iluminação nos espaços públicos, também possibilitou uma redução nos custos com o fornecimento de energia para os sistemas de iluminação. Utilizar lâmpadas LED para iluminar espaços urbanos implica em uma redução de custos que pode variar de 50 a 80% do custo de fornecimento de energia. Esta redução no consumo de energia, aliada a uma redução também no custo de manutenção dos sistemas de iluminação pública, tornou viável a realização de investimentos para modernização dos sistemas de iluminação pública.

Neste cenário, um significativo número de municípios optou por firmar contratos de parcerias público privada para concessão dos sistemas de iluminação pública a fim de viabilizar a realização de investimentos para modernização tecnológica com a adoção da tecnologia LED, o que também possibilitou incrementos significativos no padrão de qualidade da prestação de serviço. Com a adoção deste modelo de contratação pública, os processos de modernização são implementados de forma planejada e em prazos reduzidos quando



comparado com investimentos realizados por meio do modelo tradicional de contratação, proporcionando uma oportunidade valiosa para a realização de estudos destinados a avaliar os impactos desses investimentos.

Este estudo pretende aproveitar uma dessas oportunidades para avaliar o impacto dos investimentos para modernização dos serviços de iluminação pública no município de Belo Horizonte por meio da avaliação do indicador de incidência de mortes e acidentes de trânsito antes e depois da implementação das melhorias propostas na modernização do sistema de iluminação desse município.

1.2 OBJETIVO E DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DO ESTUDO

O objetivo principal deste estudo é avaliar o impacto dos investimentos para modernização e melhoria da gestão dos sistemas de iluminação pública em uma grande cidade brasileira, por meio dos indicadores de acidentes e mortes no trânsito.

Para tanto, foi considerada a hipótese de que os investimentos nos sistemas de iluminação pública têm impacto positivo nos três principais indicadores relacionados a acidentes de trânsito:

- a) Número de acidentes de trânsito;**
- b) Feridos em acidentes de trânsito;**
- c) Óbitos decorrentes de acidentes de trânsito.**

Para efeito deste estudo, será analisado o caso do município de Belo Horizonte, que conta com uma população de mais de 2,7 milhões de habitantes e modernizou 100% de seu sistema de iluminação pública entre outubro de 2017 e dezembro de 2020, por meio de um contrato de parceria público-privada.

A escolha de um sistema de iluminação pública modernizado por meio de um contrato de parceria público-privada se justifica pelo fato de que, neste tipo de contrato, o processo de modernização da infraestrutura de iluminação pública do município se dá ao longo de um período pré-determinado, possibilitando estabelecimento de um marco temporal o início do tratamento.

Outro fator determinante para a escolha é que, no caso de Belo Horizonte, a celebração do contrato foi precedida por estudos de diagnóstico da situação do parque de iluminação pública antes da

modernização. O resultado destes estudos constatou inadequações na qualidade da infraestrutura existente e apontou que a modernização, com adoção da tecnologia LED, representaria um ganho significativo de qualidade da iluminação pública.

1.6 JUSTIFICATIVA DO TEMA: RELEVÂNCIA

Os investimentos em iluminação pública têm sido priorizados por gestores municipais, principalmente em virtude dos benefícios obtidos com a redução do consumo de energia elétrica. Além disso, entidades que atuam no setor de iluminação pública, órgãos governamentais e organismos não-governamentais destacam a melhoria da segurança pública, a redução de acidentes de trânsito, o fomento ao turismo, e o estímulo à atividade econômica e à prática de esportes devido ao aumento da circulação de pessoas no período noturno quando as condições de iluminação são satisfatórias.

Entretanto, frequentemente os projetos de modernização deixam de contemplar investimentos em iluminação para reforço da sinalização de trânsito em função do custo adicional associado a esta medida. A ausência de estudos empíricos que comprovem os impactos da iluminação pública na incidência de acidentes de trânsito é um dos principais fatores que dificultam o estabelecimento de estratégias de iluminação do espaço urbano focadas em prevenção de acidentes.

Neste contexto, a realização de estudos para investigação dos impactos da iluminação pública ganha especial relevância. A partir de estudos que correlacionem a qualidade da iluminação pública e a incidência de acidentes de trânsito, gestores públicos ganham subsídio para a decisão de utilizar estratégias de iluminação pública como parte das ações para aumentar a segurança no trânsito. Além disso, se a correlação for apontada pelos estudos, abre-se ainda a possibilidade de utilização de recursos destinados para o fim de redução de acidentes, para compor as fontes de financiamento para amortização dos investimentos realizados.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo começa com uma revisão da literatura nacional e internacional com o objetivo de identificar os fatores relacionados à qualidade da iluminação pública que influenciam a

ocorrência de acidentes de trânsito, seguida da definição de estratégia empírica para coleta, tratamento e análise dos dados. Nas sessões finais, nos dedicamos à apresentação e discussão dos resultados e apresentamos nossas considerações finais sobre tema.

No capítulo 1, apresentamos o contexto em que o estudo foi realizado, o tema da pesquisa, sua importância e informações sobre a estratégia de abordagem utilizada.

No capítulo 2, foram sistematizados os achados da revisão de literatura que envolveu uma investigação dos fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de trânsito, aspectos qualitativos e de gestão dos sistemas de iluminação pública, estudos anteriores de avaliação de impactos da iluminação pública em indicadores de desenvolvimento, segurança e qualidade de vida. Em seguida, apresentamos a proposta do modelo teórico para a pesquisa e as contribuições do estudo para a literatura acerca do tema.

O capítulo 3 abordou as fontes de dados disponíveis sobre o tema, a descrição das estratégias utilizadas para tratamento dos dados obtidos.

O capítulo 4 tratou da apresentação do modelo utilizado para avaliação quantitativa do impacto da iluminação pública na incidência de acidentes de trânsito e das limitações do método escolhido e suas possíveis implicações.

No capítulo 5, apresentamos e discutimos os resultados obtidos. Por fim, no capítulo 6, apresentamos nossas considerações finais sobre o tema.



2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A INCIDÊNCIA DE ACIDENTES

Embora a redução de acidentes de trânsito seja frequentemente mencionada como um dos benefícios decorrentes dos processos de modernização dos parques de iluminação pública, para estabelecer o modelo teórico para avaliar este impacto presumido, é necessário identificar os fatores que influenciam a incidência de acidentes.

Almeida et al. (2013) enfatizam que a variedade e complexidade dos fatores que influenciam acidentes de trânsito exigem práticas interdisciplinares para lidar de forma mais eficaz com , as diversas áreas do conhecimento humano que se dedicam a estudar estes eventos.

Segundo Holffmam e Gonzáles (2003), a condução de veículos ativa praticamente todo o conjunto de fatores e processos psicológicos que integram o sistema cognitivo humano. A tabela 1 apresenta as principais funções psicológicas ativadas no ato de dirigir.

Tabela 1 – Funções Psicológicas Ativadas No Ato De Dirigir	
Funções	Características
Atenção	Capacidade de captar o que ocorre ao seu redor
Percepção	Capacidade de identificar e discriminar os estímulos relevantes que definem a situação ou problema de trânsito.
Interpretação e Avaliação	Capacidade de interpretar e avaliar corretamente uma situação a partir dos estímulos que definem o problema.
Decisão	Capacidade de tomar uma decisão mais adequada dentre todas as possíveis para um mesmo problema
Execução	Capacidade de resposta sensório-motoras necessária para executar a ação definida na tomada de decisão

Fonte: Adaptado de: Holffmam e Gonzáles (2003, p.379).

Marín e Queiroz (2000) realizaram um estudo de revisão de literatura para investigar os aspectos epidemiológicos dos acidentes de trânsito em nível nacional e internacional. Os autores identificaram que a falta de dados completos sobre acidentes de trânsito é um obstáculo significativo para o desenvolvimento de programas de segurança no trânsito, dificultando a análise e configuração do problema.

Chagas (2011) conduziu uma pesquisa exploratória, fundamentada em uma revisão bibliográfica, com o objetivo de identificar os fatores contribuintes para incidência de acidentes de trânsito. O estudo classifica os fatores mapeados em quatro categorias relacionadas ao ambiente, veículos, pessoas e contexto institucional e socioeconômico. A tabela 2 apresenta a descrição dos fatores incluídos em cada categoria proposta pela autora.

Tabela 2 – Fatores Contribuintes De Acidentes	
Contribuintes	Fatores
Viário-Ambientais	Relacionados à via ou ao meio ambiente: geometria da via, sinalização, condições da superfície de rodagem, e condições climáticas adversas.
Veiculares	Relacionados aos veículos : problemas de design , falhas mecânicas, estado de manutenção dos veículos e tecnologia empregada na segurança automotiva.
Humanos	Relacionados ao comportamento e às ações das pessoas, incluindo tanto os motoristas quanto os pedestres : excesso de velocidade, influência do consumo de álcool ou drogas e não observância das regras de trânsito.
Socioeconômico e institucional	Institucionais relacionados às normas, ações da Administração Pública, fiscalização e investimentos em prevenção.
	Condições econômicas e sociais da população, que podem influenciar o comportamento no trânsito e a qualidade da infraestrutura e dos veículos.

Fonte: Adaptado de: Chagas (2011)

Almeida et al. (2013) conduziram um estudo experimental utilizando métodos determinísticos e probabilísticos para integrar dados de diversas fontes. O objetivo foi analisar características das vítimas, das vias e dos veículos envolvidos em acidentes de trânsito na cidade de Fortaleza, com o intuito de identificar fatores de risco

independentes para óbitos. Os resultados indicam que fatores como a estrutura das vias, dia da semana, horário do acidente, perfil socioeconômico dos condutores, presença de pedestres ou ciclistas, número de pessoas envolvidas e situação da habilitação dos condutores foram considerados significativos. Os autores destacam que a estrutura das vias, incluindo a iluminação, está relacionada à gravidade dos acidentes de trânsito, sugerindo sua importância na ocorrência de acidentes fatais.

B Balbinota et al. (2011) conduziram uma pesquisa exploratória para analisar as funções psicológicas e cognitivas relacionadas à condução, assim como os processos e variáveis mediadoras que influenciam o comportamento dos motoristas e a ocorrência de acidentes de trânsito. Os resultados indicam que a responsabilidade pelos acidentes não deve ser atribuída exclusivamente aos condutores, mas sim considerar um sistema complexo que envolve a conservação e construção das vias, aspectos meteorológicos e fiscalização, entre outros.

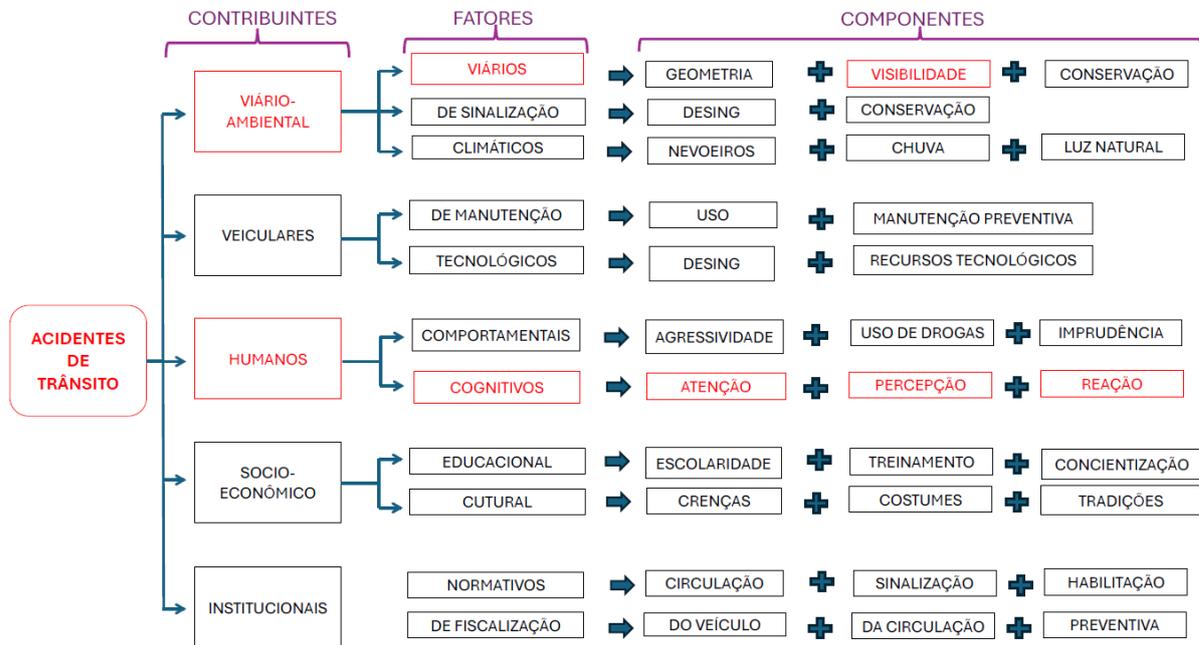
Embora a maior parte dos estudos (B Balbinota et al., 2011; Chagas, 2011; Holffmam e Gonzáles, 2003; Marín e Queiroz, 2000) não mencionem de forma direta a influência da iluminação na incidência de acidentes de trânsito, é possível identificar vários fatores que são afetados em alguma medida pela qualidade da iluminação, conforme será demonstrado na seção 2.3 deste estudo.

Chagas (2000) constatou que os relatórios policiais no Brasil frequentemente associam um único fator contribuinte aos acidentes, e este geralmente está relacionado ao comportamento humano, como a condução em velocidade incompatível com a via. Esta constatação pode estar relacionada ao fato de que a avaliação das condições de iluminação nos locais de acidentes exige conhecimento e equipamentos não disponíveis para os agentes responsáveis pelo preenchimento dos boletins de ocorrência, que comumente são registrados antes da emissão dos laudos emitidos pela polícia técnica.

Em sentido oposto, Marín e Queiroz (2000) identificaram que frequentemente os condutores apontam como causa dos acidentes de trânsito o estado de conservação da via e as condições climáticas para se eximir da responsabilidade pelos acidentes.

O diagrama apresentado na figura 1 apresenta resumo esquemático dos fatores que contribuem para a incidência de acidentes de trânsito.

Figura 1 – Fatores Contribuintes Para Ocorrência De Acidentes



Fonte: Elaboração própria

Os destaques identificam os elementos contribuintes, fatores e componentes de acidentes de trânsito que são afetados pela qualidade da iluminação pública.

2.2 ASPECTOS QUALITATIVOS DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA URBANA.

No Brasil, os parâmetros de projeto de sistema de iluminação pública seguem as diretrizes da norma ABNT NBR 5101 – Iluminação Viária.

Na introdução da referida norma nos é apresentado o conceito de iluminação pública:

A Iluminação pública tem como principal objetivo proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável proporcionando: a. Redução de acidentes noturnos; b. Melhoria das condições de vida, principalmente nas comunidades carentes; c. Auxílio à proteção policial, com ênfase na segurança dos indivíduos e propriedades; d.

Facilidade do fluxo do tráfego; e. Destaque a edifícios e obras públicas durante a noite; f. Eficiência Energética.(ABNT NBR 5101, 2024)

A ênfase dada à visibilidade e segurança de pedestres e veículos indica que os sistemas de iluminação pública estão fortemente correlacionados com segurança no trânsito.

Barbosa (2000) amplia o conceito de iluminação pública e afirma que a iluminação pública é de significativa importância para a segurança do tráfego noturno de veículos e de pedestres, e um vetor de integração social, na medida em que a iluminação de logradouros públicos possibilita a reunião de pessoas para o trabalho, esporte e lazer.

A concepção de iluminação pública apresentada por Barbosa (2000) aborda ainda as dimensões sociais e culturais da iluminação pública e sua influência no comportamento humano ampliando o entendimento da influência da luz urbana noturna na dinâmica das cidades. O diagrama da figura 2 resume uma visão ampliada de iluminação social proposta pelo autor.

Figura 2 – Funções Desempenhadas Pela Iluminação Pública



Fonte: Barbosa (2000).

Considerando que o objetivo principal deste estudo é avaliar o impacto da modernização da iluminação pública nos indicadores de acidentes de trânsito, o presente estudo abordará os aspectos técnicos e qualitativos da iluminação pública urbana que influenciam a ocorrência de acidentes associados à função de orientação do tráfego de veículos e pedestres.

Cauwerts (2013) conduziu um estudo empírico com o objetivo de avaliar em que medida fotografias e renderizações virtuais podem ser usadas para avaliar a aparência percebida da iluminação e do espaço

em ambientes internos iluminados pela luz do dia. O estudo identifica três dimensões da iluminação de espaços arquitetônicos: dimensão funcional (utilitas), relacionada a aspectos de conforto e saúde; dimensão estrutural (firmitas), relacionada a aspectos de qualidade, disponibilidade e eficiência energética e; dimensão estética (venusta), relacionado a aspectos estéticos.

Fernandes (2017) analisou dados obtidos por meio da aplicação de questionários elaborados para captura de impressões subjetivas dos usuários a respeito de ambientes virtuais simulados por meio tecnologias de realidade virtual que simulavam configurações de iluminação com emprego de parâmetros diferentes para a intensidade, a direção e a temperatura de cor da luz. Os resultados sugerem que a variação da combinação destes parâmetros pode impactar as percepções emocionais e comportamentais do usuário em relação ao espaço. Também foi possível detectar tendência de associação entre estes parâmetros e certas percepções emocionais, conforme indicado na tabela 3.

Tabela 3 – Percepções Emocionais Do Usuário Do Espaço Urbano		
Parâmetro	Variação do Parâmetro	Percepções do usuário
Intensidade	menos intensa	insegurança e ameaça
	mais intensa	segurança
Direção.	iluminação homogênea direcionada de modo a evitar sombras	agradabilidade e acolhimento.
	iluminação não homogênea favorecendo a ocorrência de sombra e pontos escuros	insegurança e ameaça
Temperatura de Cor	Temperatura de cor baixa tendendo para tons de âmbar e amarelado	romantismo, relaxamento, agradabilidade
	Temperatura de cor alta tendendo para tons de branco azulado	monotonia não acolhimento

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos por Fernandes (2017) sugerem que a qualidade iluminação pode influenciar reações emocionais e aspectos comportamentais de condutores e pedestres. Esta influência pode

ajudar a compreender a tendência de motoristas e pedestres desrespeitarem sinais luminosos em ambientes urbanos escuros com o objetivo de não se tornarem vítimas de criminosos, mesmo em regiões com baixa incidência de crimes.

Casagrande (2016), afirma que as tarefas visuais na condução incluem a detecção do movimento, a percepção da forma e cor dos objetos além da avaliação da interação de objetos fixos e móveis. A iluminação noturna de ambientes urbanos ajuda a construir uma percepção tridimensional e estável dos objetos, pois permite que os olhos detectem padrões, cores e formas, influenciando desempenho visual de pedestres e veículos.

Os manuais dos fabricantes dos equipamentos que utilizam tecnologia LED, adotada na modernização da iluminação pública, indicam que este tipo de iluminação proporciona um melhor desempenho visual devido à sua capacidade de emitir luz em comprimentos de onda aos quais o olho humano é mais sensível. O resultado dessa capacidade é uma percepção de iluminação mais eficaz, mesmo com um número inferior de lúmens, se comparado às lâmpadas de vapor de sódio e vapor de mercúrio amplamente utilizadas nos sistemas de iluminação pública tecnologicamente obsoletos. Isso ocorre porque os LEDs conseguem focar a luz diretamente na área desejada, minimizando a dispersão e maximizando a eficiência luminosa e ainda apresentam melhor performance na reprodução de cores, assegurando uma iluminação mais nítida e agradável aos olhos.

2.3 GESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

O histórico do desenvolvimento da iluminação pública no Brasil remonta ao século XVII, quando foram instaladas as primeiras luminárias a óleo no Rio de Janeiro (Casagrande, 2016). Entretanto, a expansão dos sistemas de iluminação pública só ganhou relevância com o desenvolvimento da geração e distribuição de energia elétrica, com advento da instalação das primeiras geradoras de energia elétrica no Brasil, que sugeriram principalmente com finalidade de suprir as necessidades dos serviços municipais de iluminação pública entre o final do século XIX e o início do século XX (Barbosa, 2000).

Estudos (Barbosa, 2000; Silva, 2006; Santana et al., 2010; Casagrande, 2016; Dutra et al., 2016) de diversos campos do

conhecimento abordaram o tema da evolução da Iluminação Pública no Brasil ao longo do século XX, examinando o tema sob os pontos de gestão, institucional, regulatório, tecnológico e ambiental e social.

Barbosa (2000), desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar a eficiência energética na iluminação pública, com foco no estudo do caso da cidade de João Pessoa, na Paraíba. A pesquisa incluiu uma análise técnica e institucional da iluminação pública no Brasil, revisando leis, decretos e normas específicas com ênfase nos conflitos de interesse entre municípios e concessionárias de energia e na metodologia de cálculo de tarifas. O estudo identificou um grande potencial técnico para conservação de energia no setor de iluminação pública no Brasil.

Silva (2006) analisa a iluminação pública no Brasil sob os pontos de vista institucional e energético, caracterizando o contexto histórico, legal, de custeio, tecnológico e socioambiental. O estudo ainda apresenta indicadores em nível nacional e estadual de atendimento à população e avalia a viabilidade de investimentos em melhorias dos sistemas de iluminação pública para economia de energia elétrica.

Santana et al. (2010) avaliou as condições de prestação dos serviços públicos de iluminação pública e a sua evolução após a reestruturação do setor elétrico e início da década de 2000. O estudo faz uma revisão das resoluções e regulamentos publicados entre os anos de 2000 e 2010 para discutir o gerenciamento dos parques de iluminação pública a partir da edição da Resolução ANEEL 456/2000 apontando as responsabilidades e o despreparo das prefeituras para assumir a gestão dos sistemas de iluminação pública.

Casagrande (2016) apresenta uma abordagem teórica sobre o histórico da iluminação pública no Brasil, com foco na gestão dos sistemas de iluminação no contexto brasileiro e na identificação das alternativas tecnológicas e de gestão disponíveis para os municípios brasileiros. O estudo ainda apresenta uma abordagem científica conceitual das variáveis físicas e biológicas que influenciam os projetos de sistemas de iluminação pública destacando a potencialidade do uso da tecnologia LED.

Dutra et al. (2016) aborda a relevância da iluminação pública para a sociedade, destacando seus benefícios para a segurança pública, o tráfego urbano e o uso noturno de espaços públicos e os desafios financeiros e de gestão enfrentados pelos municípios após a

determinação da ANEEL de transferir os ativos de iluminação pública antes sob responsabilidade das distribuidoras.

Os estudos (Barbosa, 2000; Silva, 2006; Santana et al., 2010; Casagrande, 2016; Dutra et al., 2016) apontam dois fatores que explicam a evolução dos serviços de iluminação pública no Brasil ao longo do século XX. Um deles é a complexidade regulatória, que impacta diretamente na gestão e no custeio dos serviços. O outro fator é o estímulo à redução do consumo de energia promovido por programas do governo federal, que privilegiavam aspectos relacionados à redução do consumo energético em relação a aspecto de qualidade ambiental dos espaços urbanos, influenciando padrão tecnológico dos parques de iluminação pública no BRASIL.

No que diz respeito ao modelo de gestão dos sistemas de iluminação pública, podemos identificar quatro períodos com características distintas. Nas primeiras três décadas do século XX, a administração dos serviços de iluminação pública coube majoritariamente a empresas privadas que também se dedicavam à geração da energia. (Barbosa, 2000).

Com a promulgação da constituição de 1934, as concessões de geração e distribuição de energia passaram a ser de competência da união. Já no segundo período, compreendido entre o início década de 1940 até meados da década de 1990, houve um aumento da presença do estado no setor elétrico por meio da aquisição de companhias privadas e criação empresas estatais (Barbosa, 2000 apud Johnson et al., 1996; Farias Neto, 1994).

Segundo Casagrande (2016), neste segundo período coexistiram dois modelos de gestão da iluminação pública no Brasil. Um em que o município era responsável pelos investimentos de operação e manutenção da infraestrutura de iluminação pública, modelo adotado em cidades maiores. E outro em que a manutenção e operação da iluminação pública foi assumida pelas empresas estaduais de geração e distribuição de energia elétrica, a exemplo dos municípios atendidos pela Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG.

O terceiro período, iniciado na segunda metade da década de 1990, foi marcado por profundas mudanças na regulação do setor elétrico, que levou à verticalização deste em segmentos de geração, transmissão e distribuição e a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (Casagrande, 2016). Com a criação do novo órgão

regulador, foram editadas várias resoluções que consolidaram a interpretação do Art. 30 da Constituição Federal de que a gestão da infraestrutura de iluminação pública é de responsabilidade dos municípios, culminando na publicação da Resolução ANEEL 414/2010 que determinou a transferência destes ativos para a gestão municipal até o fim do ano 2014.

As intensas transformações regulatórias do setor elétrico, observadas a partir da década de 1990 até a publicação da Resolução ANEEL 414/2010, impuseram grandes desafios para gestão dos parques de iluminação pública que ainda permaneciam sob responsabilidade das distribuidoras de energia, tais como:

- a) Desestímulo à realização de investimentos nos parques de iluminação pública em função das incertezas quanto a recuperação dos investimentos em função de alterações dos critérios de tarifação e alto índice de inadimplência entre os municípios. (Barbosa, 2000; Silva, 2006; Santana et al., 2010);**
- b) Aumento de custos decorrentes da perda de escala na compra de insumos e equipamentos que eram adquiridos pela concessionária de forma centralizada e passaram a depender das iniciativas individuais de cada município. (Santana, 2000);**
- c) Complexidade do planejamento e processo decisório em função da necessidade de integração das necessidades e das barreiras burocráticas e administrativas que dificultam a implementação novos projetos de eficiência energética (Silva, 2006).**

No que se refere à gestão da iluminação pública por parte dos municípios, os estudos apontaram entraves que influenciaram negativamente a qualidade dos serviços prestados, dentre os quais podemos destacar:

- a) Deficiência no planejamento da expansão e modernização dos sistemas de iluminação pública em função da inexperiência, ausência de capacitação técnica e dificuldades para obtenção de informações sobre o número de pontos de iluminação pública, suas características e dados de consumo por ponto. (Barbosa, 2000; Silva, 2006; Santana et al., 2010; Casagrande, 2016);**
- b) Dificuldade para custeio da expansão e manutenção dos sistemas de iluminação pública em decorrência das restrições**

fiscais enfrentadas pelos municípios agravadas pela inadimplência histórica da cobrança da taxa para a cobertura dos serviços, potencializada pelas discussões judiciais acerca da legalidade de sua cobrança, superada apenas com a promulgação da Emenda Constitucional 39 de 10 dezembro de 2002. (Barbosa, 2000; Silva, 2006);

- c) Resistências das Concessionárias em promover melhorias em decorrência da ausência de regulação dos critérios indicadores de qualidade para o nível de iluminação, idade do parque, e percentual de lâmpadas acesas de dia e apagadas à noite. (Santana et al., 2010; Casagrande, 2016)**

Santana et al. (2010) propôs um modelo de gestão estruturado para integrar o conjunto de ações necessárias para garantir a operação sustentável e eficiente da iluminação pública, de forma a garantir benefícios aos seus habitantes das áreas urbanas e seus visitantes. O ponto central do modelo é o conceito de gestão completa da luz urbana apresentado pela autora:

A Gestão Completa é um serviço global que permite ao administrador municipal delegar as tarefas ligadas à gestão cotidiana da iluminação pública e/ou da sinalização luminosa de trânsito, conservando, porém, o controle das grandes decisões a serem tomadas nestas áreas. No âmbito do instrumento contratual o terceirizado se responsabiliza pelo planejamento, operação e manutenção do parque de iluminação pública realiza a eficientização, as obras novas, a renovação periódica, iluminações artísticas e fornece a respectiva engenharia financeira e assessoria nas questões relativas às fontes de recursos disponíveis, como a CIP - Contribuição de Iluminação Pública e outras. As economias de energia e de operação realizadas pela empresa são reinvestidas na modernização do patrimônio, respeitando os princípios urbanísticos estabelecidos pelo município, assim como os limites orçamentários (Santana et al., 2010).

Dutra et al (2016) afirma que os municípios têm adotado diferentes arranjos de gestão dos sistemas de iluminação pública e identifica os três modelos principais: gestão direta pelo poder público, contratação de serviços de manutenção via modelo tradicional de contratação pública, contratação por meio do modelo de Parcerias Público-Privadas (PPP).

A tabela 4 apresenta um resumo de vantagens e desvantagens de cada modelo segundo a visão dos autores.

Tabela 4 – Vantagens E Desvantagens Dos Arranjos De Gestão		
Modelo	Vantagens	Desvantagens
Gestão Direta pelo Poder Público	<ul style="list-style-type: none"> O município tem controle direto sobre a operação e manutenção dos ativos. <ul style="list-style-type: none"> Flexibilidade: Possibilidade de responder rapidamente a problemas e adaptar estratégias conforme necessário. 	<ul style="list-style-type: none"> Recursos Limitados: Pode haver falta de recursos financeiros e técnicos adequados. Eficiência: Pode resultar em menor eficiência operacional e energética devido à burocracia e limitações técnicas.
Contratação de serviços terceirizados	<ul style="list-style-type: none"> Empresas especializadas podem trazer expertise técnica e operacional. Processo licitatório pode reduzir custos e melhorar a qualidade dos serviços. 	<ul style="list-style-type: none"> O município fica dependente da empresa contratada para a manutenção e operação. <ul style="list-style-type: none"> Necessidade de mecanismos de fiscalização e controle para garantir a qualidade dos serviços prestados.
Parcerias Público-Privadas (PPP)	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria da eficiência operacional e energética com tecnologias avançadas e gestão profissional. Atração de investimentos privados para modernização e manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> Processos de PPP podem ser complexos e demorados para estabelecer. Riscos financeiros e operacionais podem ser transferidos para o setor privado, mas também pode haver custos significativos para o município em caso de falha.

Fonte: Elaboração própria

Com base nos estudos (Barbosa, 2000; Dutra et al, 2016; Silva, 2006; Santana et al., 2010; Casagrande, 2016), é possível afirmar que a gestão ineficiente dos serviços de iluminação no Brasil levaram a um quadro em que a existência de demanda reprimida para instalação de novos pontos de iluminação, o nível elevado de falhas decorrentes de deficiências no processo de manutenção e a defasagem tecnológica em virtude da falta de recursos para novos investimentos em

modernização comprometeram significativamente a qualidade da iluminação de espaços urbanos no Brasil.

Diante desse quadro, a aplicação do modelo de gestão completa proposto por Santana et al., associado a parcerias público-privadas, tem se mostrado mais eficaz para superar os desafios da modernização dos sistemas de iluminação pública de forma célere, transparente e eficaz.

2.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A influência da iluminação pública em indicadores de desenvolvimento, segurança e qualidade de vida é um assunto que vem sendo abordado por estudos de diversos campos do conhecimento, como psicologia social, engenharia, criminologia, entre outras. Os resultados obtidos nestes estudos muitas vezes são conflitantes, indicando que as estratégias de abordagem utilizadas nos estudos influenciam nas suas diferentes conclusões.

Painter e Farrington (1999) utilizaram um método quase-experimental com áreas tratadas, adjacentes e de controle, para investigar o impacto da melhoria da iluminação pública na redução do crime em Stoke-on-Trent, Reino Unido. Os resultados mostraram uma redução significativa na prevalência e incidência de crimes nas áreas experimentais e adjacentes, suportando a hipótese de que a melhoria da iluminação pública reduz o crime.

Painter e Farrington (1999) utilizaram técnicas de regressão de Poisson e Logística para analisar dados obtidos a partir da aplicação de pesquisas de vitimização antes e depois das intervenções para frequentadores das áreas tratadas, áreas adjacentes e áreas de controle. A regressão de Poisson foi utilizada para analisar a diferença na mudança de todos os tipos de crime entre a área tratada e a área de controle, enquanto a regressão logística foi utilizada para analisar a diferença na mudança na prevalência de vítimas conhecidas de crimes entre diferentes áreas.

Os autores utilizaram tratamento transversais repetidos, uma vez que não foi possível vincular o endereço dos respondentes antes e depois do tratamento, impedindo a realização de análises longitudinais. A robustez dos resultados foi testada com utilização de comparações utilizando a razão de verossimilhança do qui-quadrado (Likelihood

Ratio Chi-Squared) como um termo de iteração na regressão logística, fornecendo um teste de significância para as mudanças observadas.

Chalfing et al. (2019) conduziu um experimento na cidade Nova York, baseado na metodologia de alocação temporária de equipamentos de iluminação em regiões residenciais escolhidas de forma aleatória para avaliar o impacto da melhoria da qualidade da iluminação na incidência de crimes. Os resultados mostraram uma redução significativa dos crimes noturnos ao ar livre, com uma redução mínima de 36% após considerar os eventuais efeitos de transbordamento espacial para regiões limítrofes, e encontrou uma correlação positiva entre a melhoria da iluminação e redução do crime em comunidades residenciais.

O estudo conduzido por Chalfing et al. (2019) utilizou uma técnica de regressão do LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator), que introduz um parâmetro de regularização dos coeficientes das variáveis menos importantes que podem chegar a zero. O LASSO é indicado para situações em que existem muitos preditores, e pode ser utilizado para seleção de variáveis, variância e complexidade do modelo. O método previu aplicação de técnicas de controle dos efeitos do transbordamento espacial e a sensibilidade dos resultados em relação a diferentes especificações do modelo e diferentes subconjuntos de dados como forma de controle de robustez.

Wheeler (2022) conduziu um estudo com características de quase-experimento utilizando uma metodologia de diferenças em diferenças para avaliar o impacto da modernização da iluminação pública, com adoção de tecnologia LED, nas incidências de crimes com arma de fogo na cidade de Dallas, no estado do Texas. Esse estudo não encontrou evidências empíricas de que a modernização da iluminação pública com a tecnologia LED reduziu a incidência de crimes com armas de fogo em período noturno.

A intenção inicial de Wheeler (2022) era adaptar o método experimental utilizado por Chalfing et al. (2019), entretanto, em função da distribuição espacial das conversões de iluminação ser muito concentrada, restariam poucas áreas com dados significativos de ocorrência de crime de arma de fogo para compor o grupo de controle. Cabe ressaltar que a mudança de estratégia adotada pelo autor conceitualmente significa que na verdade o estudo comparou a tendência de as incidências de crimes em espaços urbanos quando

iluminados naturalmente durante o dia e quando iluminados de forma artificial com utilização da tecnologia LED em período noturno. Neste contexto, a ausência de efeito positivo nas incidências crimes com arma de fogo sugerem existência de tendências paralelas na vigência de iluminação natural e artificial com LED, o que pode ser interpretado como indicador positivo da qualidade da iluminação pública.

Elvik (1995) realizou uma meta-análise quantitativa para integrar os resultados de 37 estudos realizados em 11 países que avaliaram o impacto da implantação de iluminação pública em ruas residenciais, rodovias e autoestradas em ambientes rurais e urbanos no período de 1948 a 1989. A investigação empregou o método log-odds para combinar as estimativas numéricas dos efeitos da implementação de infraestrutura para iluminação pública em locais que não eram iluminados anteriormente no número ou na taxa de acidentes. A análise concluiu que a presença de iluminação pública reduz acidentes fatais noturnos em 65%, acidentes com lesões em 30% e acidentes com danos materiais em 15%. Essas estatísticas demonstram efeitos significativos que, segundo a análise, não são atribuíveis a fenômenos estatísticos como a regressão à média ou tendências seculares nos acidentes rodoviários.

A investigação empregou o método log-odds para combinar as estimativas numéricas baseadas nos indicadores número de acidentes ocorridos antes e depois da implementação de iluminação pública em locais que não eram iluminados anteriormente.

Haleem (2015) examinou o impacto dos locais de travessia e das condições de iluminação na severidade das lesões em pedestres, empregando uma análise de regressão multivariada para controlar variáveis adicionais que poderiam afetar a gravidade das lesões. O estudo concluiu que, embora o local da travessia se mostrasse mais significativo para determinar a severidade das lesões, a ausência de iluminação minimizava essa diferença para apenas 5% entre as localizações analisadas. Este achado sugere que a gravidade das lesões está intrinsecamente ligada ao nível de atenção do condutor e às condições de visibilidade.

A lógica subjacente a esses achados é que as condições de iluminação influenciam a nos índices de acidentes de trânsito. Entretanto, a maioria dos estudos foram realizados em rodovias e os estudos realizados em vias urbanas, quando abordavam o impacto da

melhoria de sistemas de iluminação de baixa qualidade, demonstraram uma correlação mais fraca com indicadores de acidentes de trânsito. Neste contexto, a literatura sugere que é plausível esperar que modernização dos sistemas de iluminação pública gere uma redução na incidência de mortes e acidentes de trânsito.

Entretanto, considerando que a maior parte das pesquisas sobre o tema aborda o impacto da implementação de iluminação pública em locais que ainda não contavam com iluminação noturna, a magnitude desta redução tende a ser proporcionalmente menor.

Outro fator que diferencia o presente estudo em relação aos demais estudos realizados até então é que este pretende avaliar o impacto da melhoria da iluminação pública na escala de uma grande cidade brasileira enquanto os anteriores, analisavam o impacto de intervenções com abrangência territorial mais restrita. Esta característica associada ao grande número de fatores não relacionados com a iluminação que também afetam a incidência de mortes e acidentes no trânsito também sugerem que a magnitude do impacto medido seja proporcionalmente menor.

Isto implica que o modelo estatístico utilizado para estimativa deste impacto deve ter uma acurácia relativamente maior, demandando uma estratégia cuidadosa para tratamento dos dados obtidos e definição dos parâmetros do modelo.

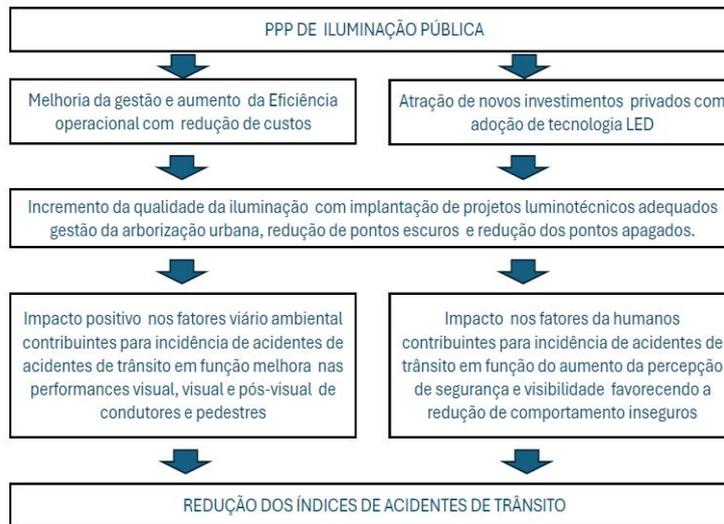
2.5 MODELO TEÓRICO

O arcabouço teórico e contexto regulatório e de gestão da iluminação pública no Brasil apresentadas na sessão 2.3 indicam que a adoção da gestão total dos parques de iluminação associada à contratação de parcerias público-privadas tem se mostrado como arranjo mais eficiente para viabilizar a modernização dos parques de iluminação com a adoção da tecnologia LED.

A análise combinada dos aspectos teóricos dos fatores que influenciam os acidentes de trânsito, dos parâmetros de qualidade da iluminação urbana e dos benefícios da adoção da tecnologia LED, apresentados seções 2.1 e 2.2, sugerem que a melhora na qualidade da iluminação pública tende a impactar favoravelmente os fatores das contribuintes viário-ambiental e humana que influenciam a incidência de acidentes com pedestres e motoristas.

Como base na análise da literatura disponível sobre o tema, para efeito deste estudo, será utilizado um modelo teórico que representa o nexos causal entre a implementação da política pública de melhoria da qualidade da iluminação e a incidência de acidentes de trânsito. O diagrama da figura 3 resume o modelo teórico norteador da avaliação.

Figura 3 – Modelo Teórico Proposto



Fonte: Elaboração própria.

2.6 CONTRIBUIÇÃO À LITERATURA

A principal contribuição do presente estudo para literatura é a proposição de um método para abordagem quase-experimental dos impactos das modernizações dos sistemas de iluminação pública na incidência de acidentes de trânsito, a partir do aproveitamento da oportunidade propiciada pela modernização total de um sistema de iluminação pública em uma grande cidade brasileira.

Cabe ressaltar o caráter inovador da adoção de uma abordagem quantitativa com utilização da metodologia de diferenças em diferenças com abordagem dinâmica em um estudo de impacto relacionado à iluminação pública, tendo em vistas que não foram identificados outros estudos desta natureza realizados no Brasil. Sendo assim, o presente estudo tem o potencial de se tornar referência para avaliação de outros indicadores relacionados à qualidade da iluminação pública.



3

3

COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Para o estudo, foram coletados dados sobre a incidência de acidentes com vítimas no município de Belo Horizonte no período de 2016 a 2022, disponibilizados pela Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS) no portal <https://dados.pbh.gov.br/>. As informações foram coletadas dos boletins de ocorrência de trânsito emitidos pela Polícia Militar do Estado de Minas Gerais (PMMG).

As informações extraídas dos registros de boletins de ocorrências de acidentes de trânsito com vítimas foram disponibilizadas em arquivos do tipo csv para cada ano no período observado. Os arquivos anuais foram consolidados para integrar informações sobre o boletim de ocorrência, sobre o local do acidente e as características dos veículos envolvidos, permitindo a identificação de um conjunto de variáveis sem relação direta com o sistema de iluminação pública. A tabela 5 apresenta a descrição do conteúdo de cada arquivo.

Tabela 5 – Dados Dos Acidentes De Trânsito	
Tabela	Descrição dos dados
ACIDENTES (Si.bol.aaa a)	Informações sobre cada os acidentes de trânsito incluindo os campos: numero_boletim, data_hora_boletim, data_inclusao, tipo_acidente, desc_tipo_acidente, cod_tempo, desc_tempo, cod_pavimento, pavimento, cod_regional, desc_regional, origem_boletim, local_sinalizado, velocidade_permitida, coordenada_x, coordenada_y, hora_informada, indicador_fatalidade, valor_ups
LOGRADOUROS (Si.log.aaa a)	Informações sobre os locais onde os acidentes ocorreram incluindo os campos: N°_boletim, data_boletim, N°_municipio, nome_municipio, seq_logradouros, N°_logradouro, tipo_logradouro, nome_logradouro, tipo_logradouro_anterior, nome_logradouro_anterior, N°_bairro, nome_bairro, tipo_bairro, descricao_tipo_bairro, N°_imovel, N°_imovel_proximo
VEICULOS (Si.log.aaa a)	Informações sobre os veículos envolvidos nos acidentes: N°_boletim, data_hora_boletim, seq_veic, cod_categ, descricao_categoria, cod_especie, descricao_especie, cod_situacao, desc_situacao, tipo_socorro, desc_tipo_socorro

Fonte: Elaboração própria.

Cada ocorrência recebeu um identificador único derivado dos números dos boletins de ocorrências e os registros duplicados foram eliminados ou consolidados em um único registro.

Para permitir a segregação dos registros de acidentes ocorridos durante o período noturno em que a qualidade da iluminação pública afeta as condições de visibilidade, daqueles que ocorridos sob a vigência de luz natural, quando o sistema de iluminação pública permanece inativo, foi construído um indicador para o período do dia. Este indicador foi obtido a partir da comparação da data e hora registrada nos boletins de ocorrência com os horários de nascer e pôr do sol calculados para cada dia no período de 01/01/2016 a 31/12/2022. Com auxílio do pacote *maptools* disponível para *RStudio*, para cada ocorrência foi atribuído um valor para determinação se o acidente ocorreu no período diurno, noturno. Os acidentes ocorridos nos períodos de transição correspondentes ao alvorecer e crepúsculo não foram considerados nas estimativas de impacto com o objetivo de garantir a uniformidade das condições de iluminação.

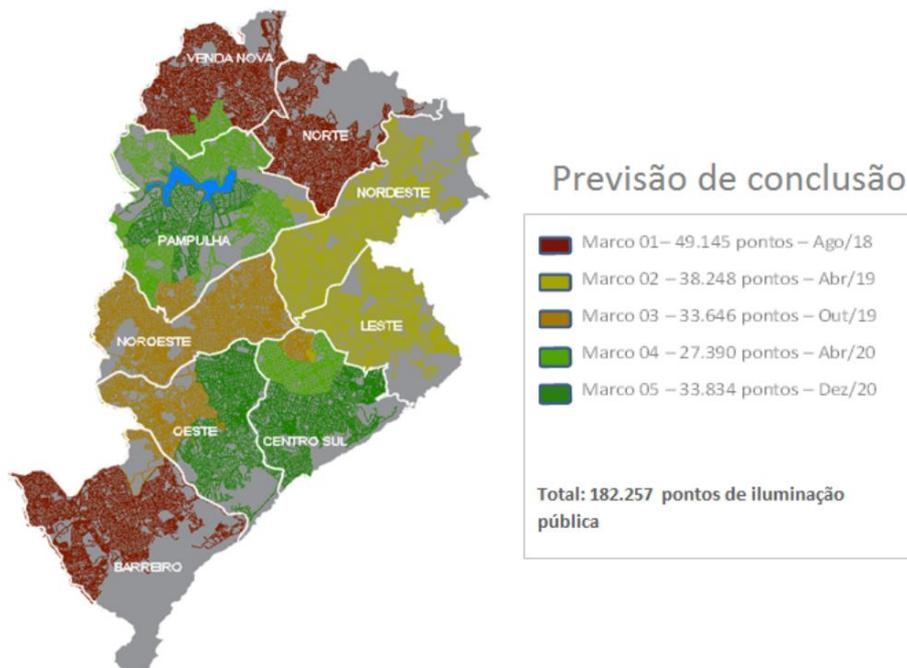
Outro tratamento realizado foi a criação de um indicador para a modernização da infraestrutura de iluminação para cada ocorrência registrada. A identificação da data em que cada local de acidente recebeu o tratamento com substituição das luminárias antigas por novas luminárias em LED se deu inicialmente por meio do cruzamento de informações obtidas junto a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte sobre o processo de implantação da modernização do sistema de Iluminação Pública. A tabela 6 apresenta os marcos de modernização informados pela prefeitura e sua abrangência espacial.

Tabela 6 – Marcos De Modernização		
Marco	Abrangência	Modernização
Marco I	Regionais Venda Nova, Norte e Barreiro	2018
Marco II	Regionais Oeste, Noroeste, e Nordeste	2019
Marco III	Regionais Pampulha, Oeste e Centro-Sul	2020

Fonte: Elaboração própria.

Contudo a confrontação das informações repassadas pela prefeitura com dados extraídos do site da concessionária e de notícias sobre o processo divulgadas pela imprensa local indicou que a execução da modernização ocorreu de forma diversa do que foi informado, revelando maior aderência com cronograma inicial divulgado pela concessionária que considerava cinco marcos de modernização. A figura 4 apresenta o mês de conclusão da modernização e abrangência espacial de cada marco de modernização previsto no planejamento apresentado pela concessionária.

Figura 4 – Marcos Do Plano De Modernização



Fonte: Dados Fornecidos pela Concessionária de Iluminação Pública - BHIP (2017).

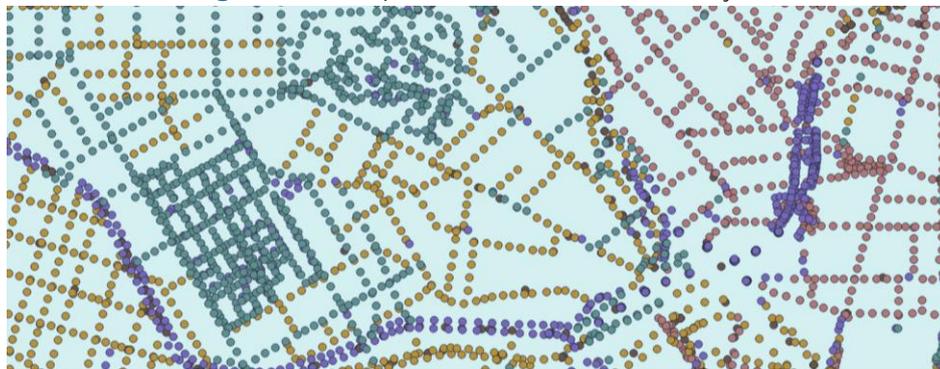
Diante da constatação de que os limites espaciais dos marcos de modernização não coincidiam com os limites das regiões administrativas cuja identificação contava nos boletins de ocorrências. Foi realizado um tratamento espacial de informações georreferenciadas a partir do cruzamento das coordenadas geográficas dos pontos de iluminação pública com as coordenadas dos acidentes informadas nos Boletins de Ocorrência, para a identificação da data em que os locais de cada ocorrência receberam o tratamento.

As coordenadas dos pontos de iluminação foram obtidas a partir da vetorização dos marcadores dos pontos iluminação de cada marco de modernização obtidos a partir de um mapa em formato PDF fornecido pela concessionária de iluminação pública responsável pela

modernização e gestão do sistema de iluminação pública. O documento disponibilizado recebeu tratamento para separação das camadas correspondentes a cada marco com utilização do software gráfico Corel Draw resultando em nuvem de pontos disposta sobre um mapa do município. As coordenadas de cada ponto de iluminação foram obtidas por meio de processo de georreferenciamento realizado com utilização do software Qgis, resultando em lista pontos de iluminação com identificação do marco de modernização a que pertencem e de suas coordenadas geográficas.

A figura 5 apresenta um recorte do mapa dos pontos de iluminação resultante, onde cada cor corresponde a um marco de modernização cuja data de entrega era conhecida.

Figura 5 – Mapa De Pontos De Iluminação



Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, foi realizado o cruzamento das coordenadas dos locais de cada acidente com as coordenadas dos pontos de iluminação localizados em um raio de 55 metros de cada local de acidente. Para a determinação do marco de modernização aplicável a cada local de acidente foi adotado o marco mais frequente entre os pontos de iluminação identificados na proximidade de cada local de acidente. Após a identificação do marco de modernização aplicável a cada registro a data da implantação do tratamento foi atribuída por correspondência com as datas de entrega dos marcos informadas pela concessionária.

De forma análoga, a atribuição da data em que cada bairro recebeu o tratamento foi atribuída utilizando o critério da data mais frequente dentre os registros de ocorrências registradas em cada bairro. Este processo permitiu agregação dos registros obtidos por bairros, e utilização destes como unidades de tratamento para efeito deste estudo.

Também foi incluído um indicador da classificação dos logradouros, segundo os critérios estabelecidos na NBR5101, que divide as vias de trânsito em categorias de acordo com suas características físicas e a intensidade de tráfego de veículos e pedestres. Esta classificação permitiu a realização de estimativas com recortes de dados correspondentes a diferentes classes de vias para refinamento do modelo.

O tratamento resultou em uma base com 84.122 registros de ocorrências registrados no período de 2016 a 2022. Destes 55.662 ocorreram no período diurno e 25.740 ocorreram período noturno. Outros 2.720 acidentes ocorrerão nos períodos de transição das condições de iluminação correspondentes ao alvorecer e crepúsculo.



4

4

METODOLOGIA

Para a presente pesquisa foi adotada uma abordagem quase-experimental de caráter quantitativo. A opção por um desenho experimental se justifica porque as modernizações dos sistemas de iluminação proporcionam um experimento natural ao modificarem as condições de iluminação no espaço urbano em um período determinado. A abordagem quantitativa é possível pela disponibilidade de dados dos indicadores de acidentes de trânsito coletados antes e após as intervenções, o que permite a quantificação dos impactos dessas modificações nos sistemas de iluminação pública.

4.1 TRATAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE DADOS

O presente estudo adota a abordagem de diferenças em diferenças (DID) para cenários com múltiplos períodos e grupos tratados em diferentes momentos, conforme proposto por Callaway e Sant'Anna (2021). Essa metodologia permitiu superar as dificuldades relatadas no estudo Wheeler (2022) sobre a disponibilidade de unidades de controle, se mostrando apropriada para o contexto da modernização de sistemas de iluminação pública em que ao longo do período observado as unidades de tratamento recebem o tratamento na medida que os marcos de modernização são implementados, podendo o mesmo bairro fazer parte do grupo de controle ou de tratamento, a depender do período analisado.

Para entender como o impacto do tratamento evolui ao longo do tempo, optou-se pelo cálculo dos efeitos dinâmicos, que capturam a variação do efeito do tratamento sobre os tratados (ATT) relativa ao momento em que o tratamento é iniciado para uma determinada unidade.

Os efeitos dinâmicos medem como o tratamento impacta os indivíduos em períodos relativos ao início do tratamento, denotado por $k=t-g$, onde t é o período de análise e g é o momento em que o grupo começou a ser tratado, o ATT dinâmico é definido como:

$$ATT(k) = \mathbb{E}[Y_t(1) - Y_t(0) \mid G = g, t - g = k]$$

Onde :

k : Tempo relativo desde o início do tratamento ($k = 0$ é o momento inicial);

$Y_t(1)$: Resultado observado sob tratamento no período t ;

$Y_t(0)$: Resultado contrafactual no período t ;

$G = g$: Indivíduos pertencentes ao grupo tratado a partir do período g .

Os efeitos dinâmicos são estimados ao longo de múltiplos grupos tratados (g) e períodos (t) e são agregados para produzir uma média ponderada que reflete forma como o impacto do tratamento varia em relação ao tempo relativo. O cálculo agregado é dado por:

$$\widehat{ATT}(k) = \frac{\sum_{g: t-g=k} n_g \cdot \widehat{ATT}(g, t)}{\sum_{g: t-g=k} n_g}$$

Onde:

n_g : Número de indivíduos no grupo tratado g ;

$\widehat{ATT}(g, t)$: Estimativa do ATT para o grupo tratado g no período t .

Para efeito deste estudo, os bairros que receberam o tratamento em um período específico g compõem o grupo de tratamento $G=g$. Essa abordagem flexível permite que o grupo de bairros tratados seja formado por bairros que receberam o tratamento em momentos distintos, sendo que para cada g um novo grupo tratamento é formado. De forma análoga, para cada período t , o grupo de controle é composto pelas unidades que ainda não foram tratadas até aquele momento ($G>t$). Essas unidades atuam como contrafactual para os grupos de tratamento no período t , permitindo a comparação necessária para estimar os efeitos do tratamento.

Esta estratégia de definição dos grupos de controle e tratamento permitiu acomodar o cenário de tratamento escalonado observado no processo de modernização do sistema de iluminação pública de Belo Horizonte, onde bairros incluídos em marcos de modernização distintos iniciaram o tratamento em momentos diferentes ao longo do tempo.

Para avaliar a hipótese de tendências paralelas, que pressupõe que, na ausência do tratamento, as trajetórias temporais dos resultados

dos grupos de tratamento e controle seriam semelhantes em um contexto dinâmico, serão analisados os efeitos nos períodos anteriores ao início do tratamento ($k < 0$). Nesse sentido, serão estimados os valores dos efeitos médios do tratamento sobre os tratados ($ATT(k)$) para os períodos pré-tratamento. Em seguida será avaliado se estes valores são estatisticamente indistinguíveis de zero, indicando que antes da aplicação do tratamento, as diferenças entre os grupos não apresentavam uma tendência sistemática, caso esta condição seja atendida a hipótese de tendências paralelas será considerada válida.

A robustez do modelo proposto será testada por meio da replicação da análise com utilização de recorte de dados específico de acidentes ocorridos durante o dia, quando, na incidência de iluminação natural, não é esperado qualquer efeito do tratamento. Esta estratégia permite avaliar se os impactos estimados podem estar relacionados com outra variável não observada além do tratamento aplicado.

4.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

A principal limitação do método proposto é que por ser tratar de uma abordagem quantitativa baseado em dados de fontes secundárias a acurácia do modelo e a robustez dos resultados obtidos podem ser afetados pela qualidade das informações obtidas para a análise.

Os dados obtidos a partir dos boletins de ocorrência podem ser afetados por imprecisões no seu preenchimento que podem apresentar lacunas importantes, como ausência da identificação precisa da hora e do local onde os acidentes ocorreram, como a ausência das coordenadas geográficas, não preenchimento do logradouro e imprecisão na definição do bairro.

Outro fator importante a ser considerado é que a identificação do marco temporal por meio do tratamento espacial de informações georreferenciadas teve como base as datas de conclusão de cada marco de modernização definido no plano acordado entre a prefeitura e a concessionária. Esta forma de definição do marco temporal implica na existência de um nível considerável de incerteza quanto ao momento em que os efeitos da modernização passaram a influenciar as condições da via, dado que cada via considerada em um determinado marco de modernização recebeu a intervenção em datas diferentes, sendo a data de entrega apenas o marco de finalização de

uma etapa do projeto, considerado para efeito da avaliação de desempenho da concessionária.

Estas inconsistências podem introduzir erros significativos. A magnitude desses erros é variável, podendo comprometer a análise dos dados ou até mesmo torná-la inviável. Portanto, é importante que a análise dos resultados seja feita de forma criteriosa de forma a considerar a influência destes fatores na robustez dos resultados obtidos.



5

5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Embora o objetivo inicial desse estudo fosse avaliar os indicadores de número de acidentes, número de feridos e número de vítimas fatais, durante o processo de tratamento das informações foi constatado que o número de vítimas não estava disponível para todo o período estudado. Dessa forma, a análise foi redirecionada para estimativa do impacto da modernização do sistema de iluminação pública no número de ocorrências de acidentes com vítimas.

Durante a fase de análise foram testadas nove configurações do modelo DID baseado na abordagem de Callaway e Sant’Ana (2021) com o intuito de obter uma estimativa do impacto do tratamento estatisticamente significativa e que atendesse à premissa de validade da hipótese de tendências paralelas. As configurações que apresentaram resultados válidos para os dois primeiros critérios foram submetidas a um teste de robustez realizado com dados de ocorrências de acidentes registradas no período diurno, a fim de confirmar a hipótese de que o impacto estimado estava de fato relacionado à melhoria de qualidade da iluminação pública. Os resultados das estimativas realizadas estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Resultado Das Estimativas

Estimativa	Efeito Médio (%)	Erro Padrão (%)	Intervalo de Confiança (95%)	P-valor (Tendências Paralelas)	Observações
1 – Ocorrências Noturnas por Bairros	0.012	23.14	[-0.4416; 0.4655]	0.97389	Tendência paralela confirmada; resultados não significativos.
2 – Ocorrências Noturnas por Bairros Normalizadas	-0.0201*	0.0019	[-0.0239; -0.0164]*	0.73231	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
3 – Ocorrências Diurnas por	-0.0209*	0.002	[-0.0248; -0.0017]*	1.00000	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.

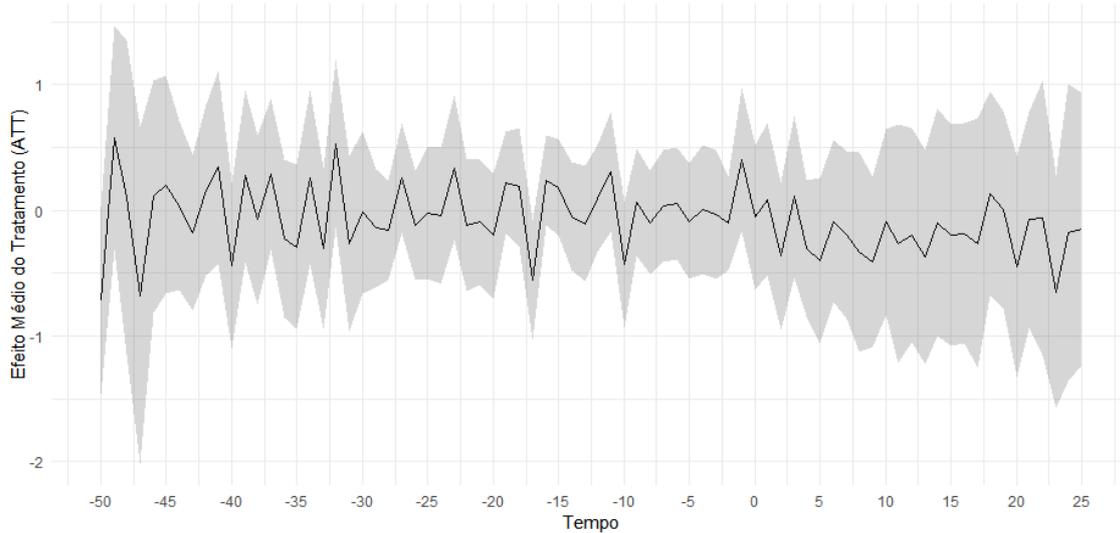
Bairros Normalizadas					
4 – Ocorrências Noturnas por Bairros - Vias Arteriais Normalizadas	-0.0277*	0.0036	[-0.0348; -0.0206]*	0.54845	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
5 – Ocorrências Diurnas por Bairros - Vias Arteriais Normalizadas	-0.0307*	0.0053	[-0.0412; -0.0202]*	0.99999	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
6 – Ocorrências Noturnas por Bairros - Vias não Arteriais Normalizadas	-0.0241*	0.0025	[-0.029; -0.0191]*	0.55949	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
7 – Ocorrências Diurnas por Bairros - Vias não Arteriais Normalizadas	-0.0194*	0.0018	[-0.0229; -0.0159]*	0.99996	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
8 – Ocorrências Noturnas por Trecho - Normalizadas	-0.0114*	0.00015	[-0.0143; -0.0085]*	1.00000	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
9 – Ocorrências Noturnas por Trecho - Normalizadas	-0.0052*	8e-04	[-0.0067; -0.0037]*	1.00000	Tendência paralela confirmada; resultados significativos.
Nota : Os valores marcados com asterisco (*) são estatisticamente significativos (P-valor (ATT Agregado) < 0.05). O teste de tendências paralelas foi considerado válido para P-valor (Tendências Paralelas) > 0.05, indicando que as tendências no período pré-tratamento são paralelas.					

Fonte: Elaboração própria.

Na primeira estimativa foram consideradas 25.589 ocorrências noturnas, resultantes da exclusão de 148 registros que apresentavam valores ausentes em relação à base inicial de 25.740 registros noturnos. Os registros foram agregados por bairro e mês da ocorrência, totalizando 12.802 registros.

Os resultados obtidos apontaram um efeito médio positivo de 1,2% e, embora o teste de confirmação da premissa tendências paralelas equivalentes no período pós e pré-tratamento tenha resultado em um P-valor = 0,97389, indicando que a viabilidade de aplicação do modelo DID, o efeito médio calculado não apresentou significância estatística. A figura 6 apresenta a distribuição dos efeitos médios agregados

Figura 6 – Efeitos Ocorrências Noturnas

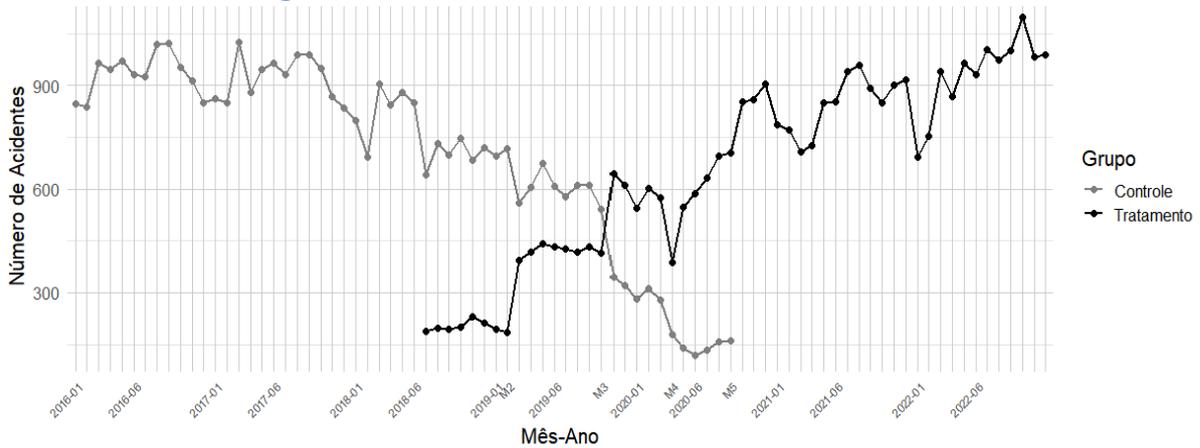


Fonte: Elaboração própria.

Os amplos intervalos de confiança e a heterogeneidade das estimativas dos efeitos dinâmicos entre os bairros ao longo do tempo sugerem que a ausência de significância estatística pode estar associada as especificações do modelo, inviabilizando conclusões robustas sobre o impacto do tratamento.

Ao analisar a variação do número de ocorrências nos grupos de tratamento e de controle ao longo do período observado é possível verificar a existência de uma grande assimetria entre os dois grupos, de forma que a magnitude do número de ocorrências registradas é significativamente diferente a sua variação ao longo do período observado apresenta tendências inversas para os grupos de tratamento e de controle. Uma provável explicação para essa assimetria é o fato de que a modernização foi implementada gradativamente, de maneira que a proporção entre área tratada e área não tratada é variável ao longo do período observado. A figura 7 mostra a variação do número de ocorrências por mês registradas no período observado para os grupos de controle e tratamento.

Figura 7 – Ocorrências Mensais Por Tratamento



Fonte: Elaboração própria.

Considerando que diversos fatores determinantes de acidentes de trânsito identificados no capítulo 2 são sensíveis à extensão das vias observadas, esta variação da proporção entre as áreas tratadas e não tratadas ao longo do tempo pode ter introduzido um efeito adicional nas estimativas cuja magnitude é grande o suficiente para encobrir os efeitos do tratamento.

Outro fator que pode ter contribuído para distorção dos resultados foi a distribuição heterogênea dos 148 registros descartados ao longo do período observado, afetando de maneira não aleatória os efeitos médios calculados para cada bairro e período.

Callaway Callaway e Sant’Anna (2021), discutiram a importância de aplicar pesos adequados para balancear as características heterogêneas dos grupos de tratamento e controle em análises de Diferenças em Diferenças (DID) com múltiplos períodos de tratamento, afirmando que a aplicação desses pesos poderia tornar a suposição de tendências paralelas mais plausível.

Li (2023) *et all*, propuseram a adoção de pesos baseado na diferença nas médias ponderadas da amostra para mitigar a ocorrência de dados ausentes em estudos biomédicos que afetam a comparação estatística da distribuição da variável de interesse. Segundo os autores foram obtidos bons resultados em estudos de marcadores para detecção de câncer a partir da adoção dessa abordagem.

Considerando a assimetria observada no número de ocorrências e tendência inversa de variação ao longo do período observado foi adotada uma estratégia para normalização da contagem do número

de acidentes com adoção de pesos para ajuste da contribuição relativa de cada unidade de tratamento ao cálculo das médias agregadas de forma semelhante ao modelo proposto por Callaway Callaway e Sant’Anna (2021). Em complemento este peso foi associado a um fator de ponderação utilizado para compensar os dados ausentes na base de dados estudada.

Dessa forma o cálculo do peso considerou as diferenças de proporção entre as áreas tratadas e de controle e a distribuição dos dados ausentes, com objetivo de reduzir as distorções no cálculo dos efeitos para cada bairro e período e garantir maior precisão para estimativa de efeito agregado em cada período.

Para cada mês no período de observação foi atribuído fator de ponderação calculado conforme o seguinte estimador:

$$(1) \text{Peso}_{(trat)} = \frac{1}{\dots}$$

$$1 / (\text{prop}_{(trat)} \times (1 - \text{perc}_{(aus)} + 10^{-10}))$$

$$(2) \text{Peso}_{(cont)} = \frac{1}{\dots}$$

$$1 / (\text{prop}_{(cont)} \times (1 - \text{perc}_{(aus)} + 10^{-10}))$$

Onde :

$\text{Peso}_{(trat)}$ = fator de ponderação para ocorrências em unidades tratadas;

$\text{Peso}_{(cont)}$ = fator de ponderação para ocorrências em unidades controle;

$\text{prop}_{(trat)}$ = proporção da área tratada em relação a área total;

$\text{prop}_{(cont)}$ = proporção da área não tratada em relação a área total;

$\text{perc}_{(aus)}$ = percentual de registros excluídos por dados ausentes.

Após o cálculo dos pesos para todas as unidades, eles foram normalizados dentro de cada mês, de forma que soma dos pesos em um mês fosse igual a 1. A normalização dos pesos se deu pela aplicação da fórmula:

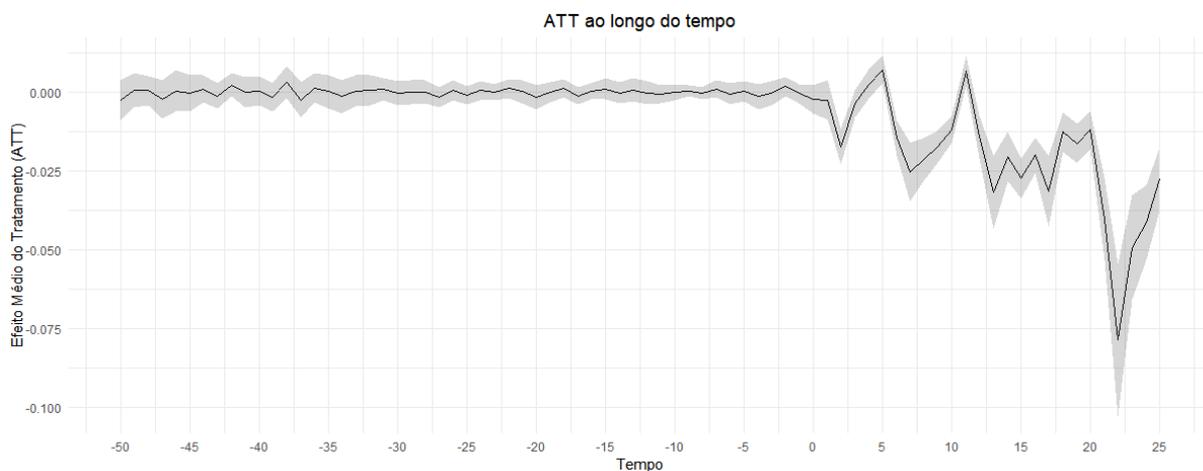
$$\text{Peso}_{(normalizado)} = \text{peso} / \sum \text{pesos}$$

Onde \sum peso é a soma dos pesos aplicados a todas as unidades dentro do mesmo mês.

Após o ajuste do modelo para considerar o número de ocorrências após a normalização, foi realizada uma segunda estimativa. Foram consideradas 21.142 ocorrências noturnas, resultantes da exclusão de 121 registros que apresentavam valores ausentes em relação à base inicial de 21.021 registro noturnos. Os registros foram agregados por bairro e mês da ocorrência, totalizando 11.573 observações.

Os resultados obtidos apontaram um efeito médio negativo e significativo de 2,01 %, de magnitude compatível com existência de um número considerável de outros fatores associados a ocorrência de acidentes de trânsito conforme apontado no diagrama da figura. O teste para a hipótese de tendências paralelas no período pré-tratamento resultou em P-valor = 0,73231, validando a hipótese de tendências paralelas para a aplicação do modelo DID. A figura 8 apresenta a distribuição dos efeitos médios agregados após a normalização da contagem das ocorrências.

Figura 8 – Efeitos Ocorrências Noturnas Normalizadas



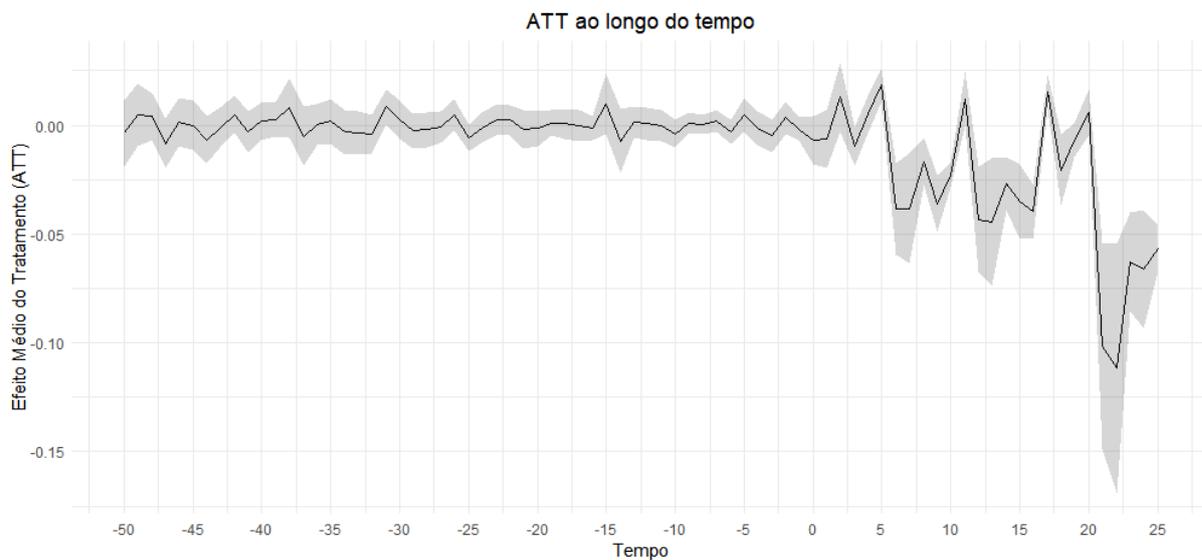
Fonte: Elaboração própria.

Após a constatação de um efeito médio negativo e significativo para ocorrências noturnas, foi aplicado o teste de robustez para corroborar com a hipótese de que o impacto detectado está relacionado com o tratamento aplicado. Para isso, foi realizada uma terceira estimativa, utilizando a mesma configuração do modelo, para estimar o impacto do tratamento a partir da análise de dados de ocorrências diurnas. Neste contexto, é esperado um resultado neutro,

uma vez que na vigência da luz solar o sistema de iluminação pública permanece inativo.

Entretanto, os resultados obtidos apontaram um efeito médio negativo e significativo de 2,09 %. O teste para a hipótese de tendências paralelas no período pré-tratamento resultou em P-valor = 1, validando a hipótese de tendências paralelas de forma ainda mais robusta. A figura 9 apresenta a distribuição dos efeitos médios agregados para dados de ocorrências diurnas normalizadas.

Figura 9 – Efeitos Ocorrências Diurnas Normalizada



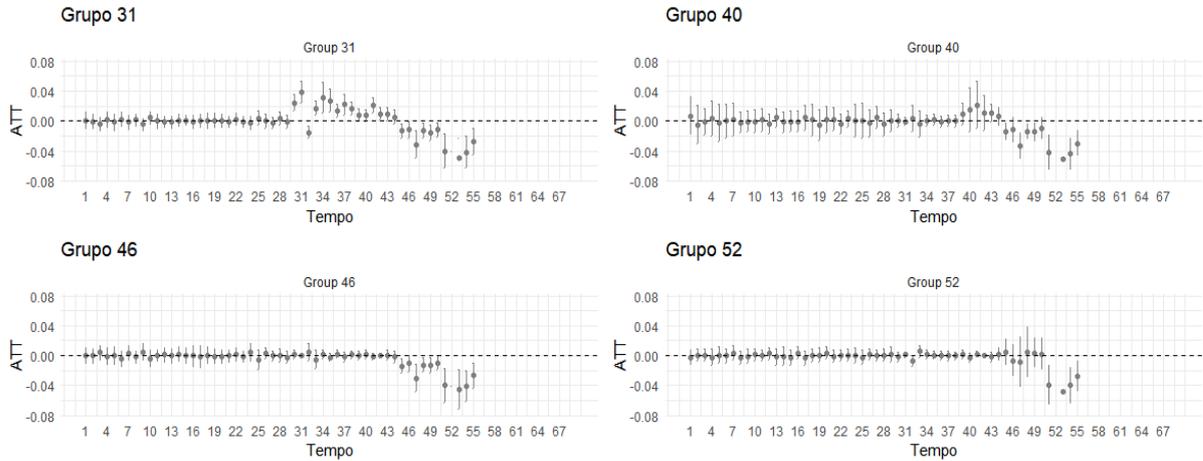
Fonte: Elaboração própria.

A estimativa de efeitos agregados da mesma ordem de grandeza para ocorrências registradas nos períodos noturnos e diurnos sugere que o impacto detectado pode estar relacionado a outros fatores sugerindo a rejeição da hipótese de que o tratamento tenha causado impacto no número de ocorrências de trânsito registradas no período observado. Contudo a reprovação do modelo no teste de robustez pode estar associada a especificação do próprio modelo, encobrendo os impactos reais do tratamento.

Para avaliar a especificação do modelo foi realizado o exame dos efeitos estimados para cada bairro e período que indicou a ocorrência de efeitos temporais heterogêneos, com alternância de efeitos positivos e negativos, sugerindo que a estimativa dos efeitos médios agregados calculados possa estar sujeita a incertezas decorrentes da imprecisão na definição do modelo. A figura 10 apresenta os efeitos médios para quatro grupos na qual é possível visualizar o padrão

heterogêneo dos efeitos para grupos de bairros pertencentes a cada marco de modernização cuja identificação pode ser feita por meio da verificação do início do tratamento em cada grupo.

Figura 10 – Efeitos Médios Por Grupos



Fonte: Elaboração própria.

A variabilidade na estimativa dos efeitos calculados para cada grupo pode estar associada a inúmeros fatores, no entanto, a definição dos grupos está associada a dois fatores principais: a adoção da periodicidade mensal apesar da duração da implantação do tratamento em cada marco ter variado entre 5 e 9 meses e a adoção dos bairros como unidade de tratamento apesar do fato que em muitos casos um mesmo bairro possa ter recebido tratamento em mais de uma marco de modernização, conforme pode ser inferido a partir da análise da figura 5.

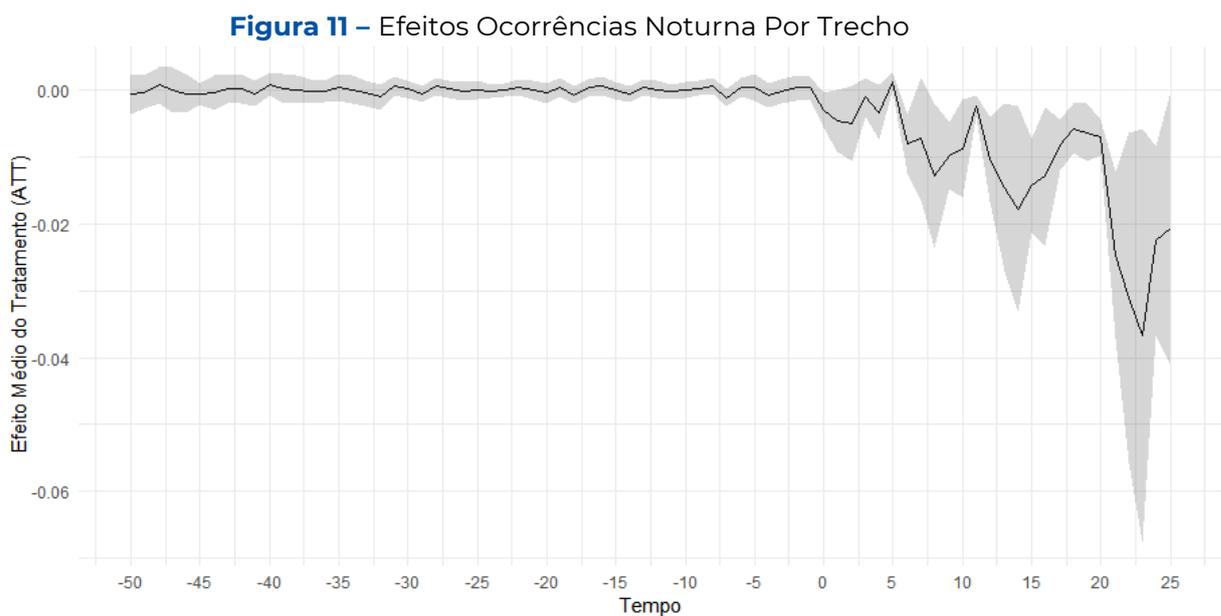
A escolha da periodicidade mensal foi baseada na estratégia utilizada para determinação do momento em que cada bairro foi modernizado. Embora a atribuição da data em que cada bairro recebeu modernização, com base nas datas das entregas dos marcos de modernização, gere incertezas para as estimativas, a definição da periodicidade mensal minimiza esse viés, em função do melhor ajuste em relação à duração dos marcos de modernização, que variou entre 5 e 9 meses. Dessa forma, diante da indisponibilidade de informações mais detalhadas sobre datas de implantação do tratamento em cada bairro ou via, essa alternativa se mostrou a única viável.

A adoção dos bairros como unidade de tratamento, no entanto, é passível de revisão e compatível com os dados disponíveis. Ao testar novos recortes de dados com dados de vias arteriais, coletoras e locais

estimativas 4, 5, 6 e 7, foi constatado que, embora os impactos noturnos e diurnos para os recortes testados ainda fossem da mesma ordem, os resultados dos testes de tendências paralelas e magnitude dos erros dos resultados nas configurações com uma única classe de via sugeriam que a agregação dos dados por logradouros associada à ponderação do número de ocorrências poderia resultar em um modelo com maior acurácia.

Contudo, como muitos logradouros se estendem por várias regiões do município, estas vias foram seccionadas em trechos para possibilitar um melhor ajuste em relação aos marcos de modernização da iluminação pública. Desta forma, foram definidos trechos de logradouros a partir da sua associação com a distribuição espacial dos marcos de modernização para realização de novas estimativas, com adoção do trecho e mês como agregadores dos registros.

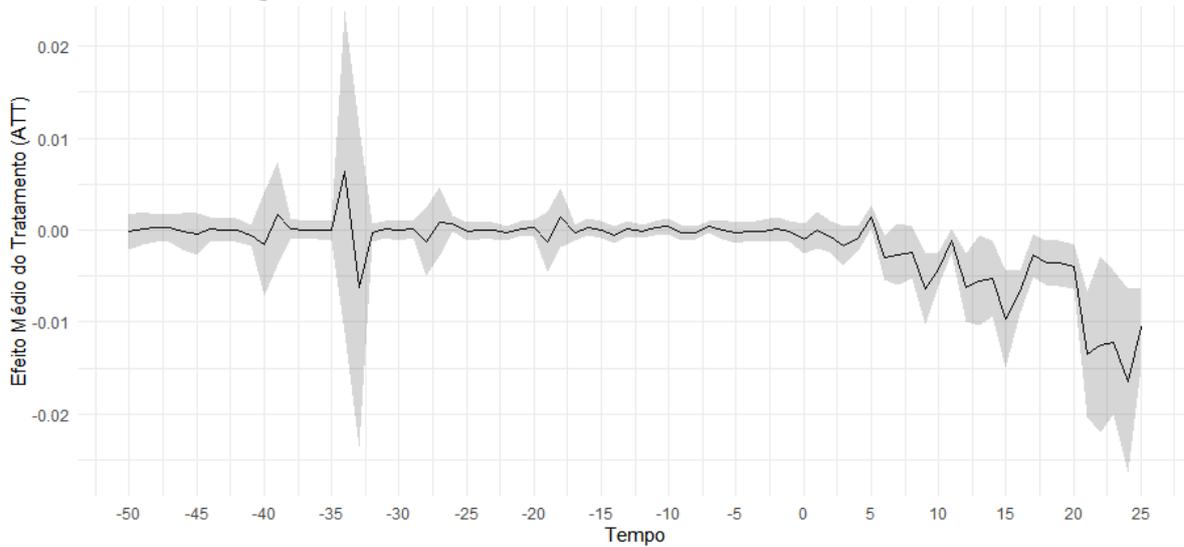
Os resultados para a oitava estimativa com dados de ocorrências noturnas indicaram um efeito médio negativo significativo de -1,14 % . O teste para a hipótese de tendências paralelas no período pré-tratamento resultou em P-valor = 1, validando a hipótese de tendências paralelas para a aplicação do modelo DID de forma robusta. A figura 11 apresenta a distribuição dos efeitos médios agregados para dados de ocorrências noturnas agregadas por trecho e mês, com contagem de ocorrências normalizadas.



Fonte: Elaboração própria.

Diante dos resultados obtidos aplicamos novamente o teste para robustez do modelo com utilização de dados de ocorrências diurnas. Os resultados indicaram um efeito médio negativo significativo de -0,52. O teste para a hipótese de tendências paralelas no período pré-tratamento resultou em P-valor = 1, validando a hipótese de tendências paralelas para a aplicação do modelo DID. A figura 12 apresenta a distribuição dos efeitos médios agregados para dados de ocorrências diurnas agregadas por trecho e mês, com contagem de ocorrências normalizadas.

Figura 12 – Efeitos Ocorrências Diurnas Por Trecho



Fonte: Elaboração própria.

Nesta configuração do modelo foram encontradas evidências robustas de que os efeitos nas ocorrências noturnas foram maiores que nas ocorrências diurnas, entretanto a magnitude dessa diferença é muito pequena.

Embora fosse esperado um impacto de baixa amplitude, em função dos múltiplos fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de trânsito, conforme descrito no capítulo 2, o impacto reduzido nas ocorrências noturnas associado à constatação de impacto na estimativa realizada com dados diurnos, onde não era esperado um efeito do tratamento, sugere que que a curácia do modelo não é suficiente para uma conclusão definitiva sobre os impactos das modernização da iluminação pública número de ocorrência no período noturno.

Uma possibilidade de melhoria da acurácia do modelo seria a o rebalanceamento dos grupos de controle e de tratamento com adoção

de métodos avançados de Propensity Score Matching (PSM), entretanto esta melhoria demandaria a coleta de dados complementares.

Outra oportunidade de melhoria no modelo seria a obtenção de informações sobre as datas de implantação da modernização da iluminação em cada logradouro para reduzir a incerteza introduzida no modelo em função da imprecisão na determinação do momento a partir do qual a melhoria da iluminação em cada trecho passou a influenciar as ocorrências de acidentes.

Entretanto, os prazos e recursos disponíveis para conclusão da pesquisa não permitiram a realização de novas coletas de dados complementares para continuação do processo refinamento das especificações do modelo utilizado para as estimativas.



6

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à metodologia utilizada, os resultados obtidos e discutidos na seção anterior apontam que o modelo de Diferenças em Diferenças (DID) é adequado para a avaliação dos impactos de processos de modernização de sistemas de iluminação pública em índices de acidentes de trânsito e outras políticas públicas locais.

O cruzamento de dados, com utilização de ferramentas de georreferenciamento, mostrou-se uma ferramenta útil para contextos em que a dispersão espacial das áreas tratadas e magnitude de sua extensão territorial dificultam a delimitação da poligonal definidora da unidade de tratamento. Tal recurso possibilitou a proposição de ajustes ao modelo teórico utilizado neste trabalho, que foram fundamentais para uma análise mais compreensiva dos resultados obtidos e sua real significância.

O estimador dos pesos aplicados para normalização da contagem dos registros de ocorrências de trânsito, com o objetivo de melhorar a acurácia do modelo, ainda apresenta margem significativa para aprimoramento. Esse aprimoramento pode ser alcançado por meio da aplicação de técnicas de *Propensity Score Matching* (PSM), utilizando dados sobre as características das unidades que compõem os grupos de tratamento e controle. Recomenda-se especial atenção a esse aspecto do modelo em futuras avaliações que visem à replicação da metodologia utilizada neste estudo.

Apesar dos refinamentos aplicados ao modelo, críticas foram levantadas em relação aos resultados obtidos. O teste de robustez, realizado com dados de ocorrências diurnas, não indicou efeitos nulos ou inexpressivos quando comparado às estimativas baseadas em dados de acidentes noturnos, como era esperado segundo o modelo teórico proposto. Possíveis explicações para esse resultado incluem efeitos não observados de fatores que podem influenciar os indicadores avaliados neste estudo, conforme discutido na seção 2, bem como a limitação dos dados brutos inicialmente levantados, especialmente no que diz respeito às informações disponíveis sobre o processo de modernização do sistema de iluminação pública. Esses fatores dificultaram a formulação de uma conclusão definitiva sobre os

impactos dessa política pública no número de ocorrências de trânsito com vítimas no município de Belo Horizonte/MG.

Futuros estudos podem se beneficiar deste trabalho ao propor refinamentos ao modelo e testar sua aplicabilidade em outros contextos de avaliação dos impactos de investimentos em infraestrutura urbana. O expressivo número de processos de modernização de sistemas de iluminação pública implementados nos últimos cinco anos em diversos municípios brasileiros, contratados por meio de parcerias público-privadas, oferece oportunidades valiosas para a replicação da metodologia aplicada neste estudo. Isso possibilita a avaliação dos impactos dessas intervenções em indicadores de acidentes de trânsito, além de indicadores relacionados a outras políticas públicas, como mobilidade, segurança pública e turismo ou qualquer outro indicador disponível.



REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rosa Livia Freitas de et al. **Via, homem e veículo:** fatores de risco associados à gravidade dos acidentes de trânsito. *Revista de Saúde Pública*, v. 47, p. 718-731, 2013.

ANEEL. Resolução N°. 414/2010. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.** Brasília, 2010.

B BALBINOTA, Amanda; A ZAROB, Milton; I TIMM, Maria. Psychological and cognitive functions in the act of driving and its importance for drivers in traffic. *Ciências & Cognição*, v. 16, n. 2, p. 13-29, 2011.

BARBOSA, Robson. **A gestão e o uso eficiente de energia elétrica nos sistemas de iluminação pública.** 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERNARDES, Drielly Mazzarim; CELESTE, Wanderley Cardoso; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. **Eficiência energética na iluminação pública urbana:** revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e606973957-e606973957, 2020.

CALLAWAY, Brantly; SANT'ANNA, Pedro HC. Difference-in-differences with multiple time periods. *Journal of econometrics*, v. 225, n. 2, p. 200-230, 2021.

CAUWERTS, Coralie. **Influence of presentation modes on visual perceptions of daylight spaces.** Université catholique de Louvain (UCL), Louvain-la-Neuve, Bélgica, 2013.

CARNEIRO, André Luis Costa et al. **Gestão da qualidade aplicada a implantação de tecnologia LED na iluminação pública.** 2018.

CASAGRANDE, Cristiano Gomes. **Desafios da iluminação pública no Brasil e nova técnica de projetos luminotécnicos fundamentada na fotometria mesópica.** 2016.

CHAGAS, Denise Martins. **Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano.** 2011

CHALFIN, Aaron et al. **Reducing Crime Through Environmental Design: Evidence from a Randomized Experiment of Street Lighting in New York City**. National Bureau of Economic Research, 2019.

DA SILVA, Lourenço Lustosa Fróes; LUSTOSA, Lourenço. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos energéticos e institucionais**. *Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006*.

DE VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro; LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto (Ed.). **Iluminação eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e parceiros**. *Eletrobras Procel, 2013*.

DUTRA, Joisa Campanher; SAMPAIO, Patricia Regina Pinheiro; AMORIM, Livia Medeiros. **Aspectos regulatórios e desafios da iluminação pública: controvérsias e desenvolvimentos recentes**. *Direito. UnB-Revista de Direito da Universidade de Brasília*, v. 2, n. 2, p. 120-143, 2016.

ELVIK, Runa. **Meta-analysis of evaluations of public lighting as a countermeasure for accidents**. *Transportation Research Record*, n. 1485, p. 112-123, 1995.

FARIAS NETO, P. S. **Gestão efetiva e privatização: uma perspectiva brasileira**. *Rio de Janeiro: Qualitymark, 1994*.

FERNANDES, Ítalo Pereira. **Iluminação e sua influência no espaço urbano noturno: as impressões do usuário no processo de planejamento da luz**. 2017. *Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo*.

FUJII, Walquiria Yumiko. **Avaliação do desempenho dos elementos de sinalização viária em rodovias**. 2017. *Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo*.

HALEEM, Kirolos; ALLURI, Priyanka; GAN, Albert. **Analyzing pedestrian crash injury severity at signalized and non-signalized locations**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 81, p. 14-23, 2015.

HOFFMANN, M. H.; GONZÁLEZ, L. **Acidentes de trânsito e fator humano**. In: HOFFMANN, M. H. (Org.). **Comportamento humano no trânsito**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2003. p. 377-391.

LI, Yuntong et al. Weighted mean difference statistics for paired data in the presence of missing values. **Statistical Methods in Medical Research**, v. 32, n. 10, p. 2033-2048, 2023.

MARÍN, Letícia; QUEIROZ, Marcos S. **A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade**: uma visão geral. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 16, p. 7-21, 2000.

PAINTER, Kate; FARRINGTON, David P. Street lighting and crime: diffusion of benefits in the Stoke-on-Trent project. **Surveillance of public space: CCTV, street lighting and crime prevention**, v. 10, p. 77-122, 1999.

PIRES, José Claudio Linhares. **Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro**. 2000.

RODRIGUES, Bruno; ZUCCO, Cesar. **Uma comparação direta do desempenho de uma PPP com o modelo tradicional de contratação pública**. *Revista de Administração Pública*, v. 52, p. 1237-1257, 2018.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. *Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. 1ª edição. Julho, 2002.

SANTANA, Rosa Maria Bomfim et al. **Iluminação pública**: Uma abordagem gerencial. 2010.

VEITCH, JA; NEWSHAM, GR. **Efeitos da qualidade da iluminação e da eficiência energética no desempenho das tarefas, humor, saúde, satisfação e conforto**. *Jornal da Illuminating Engineering Society*, v. 1, p. 107-129, 1998.

WHEELER, Andrew Palmer. **Analysis of LED street light conversions on firearm crimes in Dallas**, Texas. *Center for Open Science*, 2022.



idp

Bo
pro
cit
ref
Ness
são e

idp

A ESCOLHA QUE
TRANSFORMA
O SEU CONHECIMENTO