



CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
Engenharia Civil

Marcos Venicius Farias da Silva Filho

**ANÁLISE DOS SINISTROS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: UM ESTUDO
DE CASO EM FORTALEZA - CE**

FORTALEZA
2022

Marcos Venicius Farias da Silva Filho

ANÁLISE DOS SINISTROS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: UM ESTUDO
DE CASO EM FORTALEZA - CE

Esta monografia apresentada no dia 13 de junho de 2022 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza – FAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

FORTALEZA

2022

S586a

Silva Filho, Marcos Venicius Farias da.

Análise dos sinistros em interseções semaforizadas: um estudo de caso em fortaleza - CE /
Marcos Venicius Farias da Silva Filho. – Fortaleza, 2022.

48 f.; 30 cm.

Monografia - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Unifametro, Fortaleza, 2022.

Orientador: Prof. Kaio Gefferson de Almeida Mesquita.

1. Sistema viário. 2. Interseções viárias. 3. Sinistros - Trânsito. I. Título.

CDD 388

Marcos Venicius Farias da Silva Filho

ANÁLISE DOS SINISTROS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: UM
ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA - CE

Esta monografia apresentada no dia 13 de junho de 2022 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza – FAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Kaio Gefferson de Almeida Mesquita
Orientador – Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza - UNIFAMETRO

Prof^o. Nelson de Oliveira Quesado Filho
Membro – Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^o Jefferson Pereira Ribeiro
Membro - Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza - UNIFAMETRO

Ao professor Kaio Mesquita, que com sua dedicação e cuidado de mestre, orientou-me na produção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela ajuda e proteção, pela sua força e presença constante, por me guiar à conclusão de mais uma preciosa etapa de minha vida, a minha família que foi meu alicerce durante esses anos de graduação, minha namorada que durante esses últimos meses tem sido compreensiva com minha ausência e principalmente minha avó que custeou toda a minha graduação, sem ela nada disso teria sido possível, e também ao meu orientador que sempre esteve disponível e me auxiliou da melhor maneira possível para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A segurança viária pode ser conceituada como a nomenclatura utilizada para se referir ao pacote de medidas, acomodações e padrões de normas existentes atribuídas à circulação de pedestres e automóveis pelas vias utilizadas para fluxo de transeuntes ou sistema rodoviário, tomando como premissa a prevenção dos sinistros de trânsito. As principais metodologias disponíveis utilizadas para análise, redução e prevenção dos acidentes de trânsito, têm repartições que se assemelham. A identificação dos pontos críticos é o primeiro passo do processo de gestão da segurança viária. O ponto crítico pode ser definido como um local em que a frequência de acidentes, gravidade e a quantidade de vítimas fatais tem números elevados. O objetivo geral deste trabalho é analisar os principais pontos críticos baseados nos registros de sinistros em interseções semaforizadas de Fortaleza – CE. Os dados analisados foram coletados pelo SIAT, 2017, baseando-se em 10 interseções, considerando o fluxo de veículos e pedestres das principais vias de Fortaleza. O modelo de coleta se deu, majoritariamente, através de observação por câmeras e minoritariamente através de contagem de casos fornecidos pelo estado. A escolha das interseções se deu de forma aleatória, mas considerando as doze regionais do município e a coleta foi averiguada para o ano inteiro. O método progrediu com a escolha das medidas de desempenho, denominadas ainda de indicadores. As medidas escolhidas foram o UPS que se baseia no cálculo através do levantamento de sinistros totais tendo um peso maior os fatais e feridos, NSS, que se baseia em uma potência de expoente considerado como o grau de desvio médio (σ), na incidência de vítimas fatal + ferido (N observado), no MPA, baseado no número de faixas da interseção e no volume diário médio anual (VDMA) que costuma passar pelas interseções. Outro indicador a ser apresentado e analisado é o EMPA. Diante dos resultados encontrados, foi possível verificar que apesar de haver acidentes com número elevado de fatais, ainda assim essas apresentam alto potencial na redução de acidentes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Interseções, Avenida Tristão Gonçalves x Avenida Duque de Caxias e Avenida Imperador.....	16
Figura 2: A razão entre a velocidade e o grau de criticidade do sinistro.....	16
Figura 3: As chances de sobrevivência de um atropelamento em relação à velocidade	17
Figura 4: Fatores e consequências de acidentes.....	18
Figura 5: Categorias do Nível de Serviço da Segurança	23
Figura 6: Fluxograma do método	26
Figura 7: Network Screening	27
Figura 8: Sistema viário de Fortaleza.....	31
Figura 9: Fluxo de veículos das vias de Fortaleza.....	32
Figura 10: Interseções	33
Figura 11: Mapa de intervalos do VDMA (14000 – 70000 veículos).....	34
Figura 12: Mapa do intervalo de vítimas feridas (4 – 16).....	36
Figura 13: Mapa de número de vítimas fatais.....	38
Figura 14: As interseções que apresentam maiores graus de severidade	39
Figura 15: Cálculo de UPS para todas as interseções.....	41
Figura 16: Tabela resumo dos indicadores	41
Figura 17: Mapa resumo dos indicadores (UPS)	42
Figura 18: Mapa resumo dos indicadores (NSS)	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Frequência Média de Acidentes (FMA)	19
Equação 2: Exceder um limite de Proporção.....	20
Equação 3: parâmetros α e β	21
Equação 4: exceder a proporção média entre a somatória dos acidentes.....	21
<i>Equação 5: Taxa de Acidentes</i>	21
<i>Equação 6: Taxa de acidentes média</i>	22
<i>Equação 7: Taxa Crítica de Acidentes</i>	22
<i>Equação 8: Grau de desvio médio (σ)</i>	23
<i>Equação 9: Modelo Binário</i>	24
<i>Equação 10: Método empírico de Bayes</i>	24
<i>Equação 11: Cálculo do MPA</i>	28
<i>Equação 12: Cálculo do EMPA</i>	29
<i>Equação 13: Cálculo do grau de desvio médio (σ)</i>	29
Equação 14: Cálculo da UPS	30
Equação 15: Intervalo médio entre as interseções.....	35
Equação 16: Amplitude do intervalo.....	35
Equação 17: Intervalo médio entre as interseções.....	37
Equação 18: Amplitude do intervalo.....	37
Equação 19: MPA calculado.....	40
Equação 20: Grau de desvio médio calculado	40
Equação 21: EMPA calculado	40
Equação 22: UPS calculado	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Problematização e justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Sistema viário brasileiro	15
2.2 Segurança no sistema viário de Fortaleza	15
2.3 Métodos de identificação dos pontos críticos dos sinistros e indicadores	18
2.4 Medidas de desempenho utilizados pelo MIPC	18
3. METODOLOGIA	26
3.1 Fluxo nas interseções e caracterização das vias	26
3.2 O método <i>Network Screening</i>	27
3.3 Triagem dos locais dos pontos críticos	27
3.4 Método de coleta	28
3.5 Definição dos principais indicadores	28
3.6 Ferramentas utilizadas	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Classificação dos pontos críticos	32
4.2 Comparando as interseções com maior e menor quantidade de pontos críticos	33
4.3 VDMA (Volume Diário Médio Anual)	34
4.4 Vítimas feridas	36
4.5 Vítimas Fatais	37
4.6 Escolha das 10 principais interseções	39
4.7 Comparando os indicadores	39
4.8 Tabela resumo com os indicadores	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A segurança viária pode ser conceituada como a nomenclatura utilizada para se referir ao pacote de medidas, acomodações e padrões de normas existentes atribuídas à circulação de pedestres e automóveis pelas vias utilizadas para fluxo de transeuntes ou sistema rodoviário, tomando como premissa a prevenção dos acidentes de trânsito. As principais metodologias disponíveis utilizadas para análise, redução e prevenção dos acidentes de trânsito, têm repartições que se assemelham. Comumente são utilizados os Programas de Tratamento de Locais Críticos (LCs) e os Programas de Aplicação de Soluções Típicas (iluminação ou focos semafóricos em travessias de pedestres, redutores de velocidade) para condição de serviço dos analistas.

Para efeito de comparação, segundo uma pesquisa feita pelo WRI BRASIL em 2020, a taxa de mortalidade no trânsito de Buenos Aires era de 3,6% a cada 100 mil habitantes, essa taxa é baixa quando comparada com as taxas de mortalidade de grandes cidades brasileiras que detêm grande fluxo de trânsito como São Paulo que possui taxa de 6,4% e Rio de Janeiro que possui taxa de 9,6% para a mesma quantidade de habitantes. Quando comparado com Amsterdam e Copenhague, tidas como cidades referências no quesito segurança viária essas últimas cidades citadas, foram pronunciadas na adoção de grandes planos e projetos estratégicos para reduzir acidentes e fatalidades no trânsito desde a década de 1990. Amsterdam e Copenhague tiveram taxa de mortalidade no trânsito de 1,34% e 0,9%, respectivamente, para cada 100 mil habitantes nos anos de 2015 e 2018, respectivamente (WRI BRASIL, 2020).

Em áreas urbanas existem diversos pontos potencialmente perigosos para a segurança no trânsito. As interseções viárias, onde as trajetórias conflitantes de veículos motorizados, não motorizados e pedestres se interceptam, causando conflitos que em muitos casos acabam gerando acidentes (Gold, 1998). Representando de uma forma didática, para entender o risco da alta velocidade nas avenidas, um atropelamento a 80km/h equivale a uma queda do 9º andar de um

prédio, enquanto um atropelamento a 30 km/h equivale a uma queda do 2º andar de um prédio, em um atropelamento a 60 km/h (velocidade muito comum na maioria das vias de fortaleza) a chance de sobrevivência é de apenas 2%, de acordo com os dados de uma pesquisa do Diário do Nordeste da Viana (2021).

Existe um verdadeiro impacto nessa relação entre a redução de velocidade e o tempo do trajeto. Usando um exemplo recente, também na cidade de Fortaleza, onde algumas vias tiveram suas velocidades reduzidas de 60km/h para 50km/h, o tempo adicional por quilômetro foi de apenas 12 segundos e de acordo com a AMC houve uma redução potencial de 29% no risco de acidentes com vítimas feridas e 31% no risco de acidentes com vítimas fatais.

Segundo Velloso (2022), as principais condições da natureza dos acidentes são definidas como: atropelamento, colisão, capotamento e tombamento. O atropelamento trata-se do acidente em que o transeunte (pedestre ou animal) é exposto ao choque com um automóvel, em que pelo menos um dos envolvidos esteja em movimento cinético. A colisão trata-se do choque que envolve dois automóveis, estando ambos ou somente um em movimento. O capotamento trata-se do acidente em que o automóvel gira em torno do próprio eixo, em qualquer dos sentidos, ficando com a capota em contato com o solo, impossibilitando de fazer o giro e voltar à pista. O tombamento trata-se do acidente em que o automóvel, estando em movimento, perde a sua posição normal ficando inclinado em relação ao seu próprio eixo, normalmente com duas rodas fora de contato com o piso (Velloso, 2022).

Para Brandão (2007), são diversos os fatores contribuintes para ocorrências nos acidentes de trânsito, destacando-se as quatro principais, são eles:

- **Fator humano** - refere-se à educação e preparo do cidadão para o trânsito, suas condições físicas e psicológicas e sua capacidade de julgamento.
- **Fator veículo** - refere-se às condições de manutenção, conservação e desempenho do veículo e equipamentos integrantes (de segurança, potência, aerodinâmica, estabilidade, etc.).

- **Fator via** - refere-se às características físicas da via. É o principal fator de atuação da engenharia, incluindo aspectos da geometria, sinalização, regulamentação e uso da via, bem como da pavimentação e condições de tráfego em operação na mesma.
- **Fator ambiente** - refere-se aos condicionantes do tempo e visibilidade, e aspectos como o uso e ocupação do solo e interferências.

De acordo com os Programas para Redução de Acidentes de Trânsito as técnicas existentes apresentam procedimentos semelhantes entre si sendo os mais comuns, os Programas de Tratamento de Locais Críticos (LCs), as etapas deste programa consistem em: levantamento e organização de dados, identificação de locais críticos, investigação de causas/soluções prováveis, recomendações de projetos de engenharia e intervenção e monitoração local.

1.1 Problematização e justificativa

A identificação dos pontos críticos é o primeiro passo do processo de gestão da segurança viária. O ponto crítico pode ser definido como um local em que a frequência de acidentes, gravidade e a quantidade de vítimas fatais tem números elevados (Gold, 1998)

A finalidade é principalmente a análise de pontos críticos que pode ser utilizada pelos gestores e demonstrar a importância da identificação dos pontos críticos em interseções nas vias de Fortaleza - CE, como instrumento de orientar o motorista, nas normas a serem seguidas, proporcionando maior segurança, credibilidade e aceitação por parte do motorista e pedestre, visando diminuir cada vez mais os números de acidentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os principais pontos críticos baseados nos registros de sinistros em interseções semaforizadas de Fortaleza - CE.

1.2.2 Objetivos específicos

- Contextualizar o sistema viário de Fortaleza com foco nas interseções semaforizadas;
- Contextualizar os pontos críticos da cidade em interseções semaforizadas;
- Levantar indicadores de segurança viária;
- Diagnosticar os pontos críticos (comparar os indicadores levantados).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema viário brasileiro

A classificação viária, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, estabelece as vias urbanas como: Vias de Trânsito Rápido; Arteriais; Coletoras; Locais; e as vias rurais: Rodovias; Estradas. As Vias de Trânsito Rápido, têm com o objetivo de agilizar deslocamentos diários urbanos de longas distâncias, a velocidade máxima é de 80 km/h. As Vias Arteriais também têm como principal característica o tráfego de passagem, porém estas possuem interrupções, o controle de acesso é parcial e as interseções são em nível e espaçadas, uma vez que quanto maior o espaçamento, maior a eficiência do trânsito, a velocidade máxima é de 60 km/h.

As Vias Coletoras, com sua velocidade máxima de 40 km/h, têm o objetivo de, como o próprio nome diz, “coletar” e, ainda, distribuir os usuários, auxiliando nas conexões com as Vias de Trânsito Rápido, Vias Arteriais e Locais, o que permite deslocamentos dentro das regiões de uma cidade, além de acesso ao interior da mesma. As Vias Locais são caracterizadas pelos acessos lindeiros e pelas interseções em nível, geralmente o tráfego é por automóveis e com velocidade recomendada de 30 km/h, a sua função é permitir o acesso local. Estas vias possuem faixas simples de 3,00 m de largura e calçadas de 2,50 m de largura.

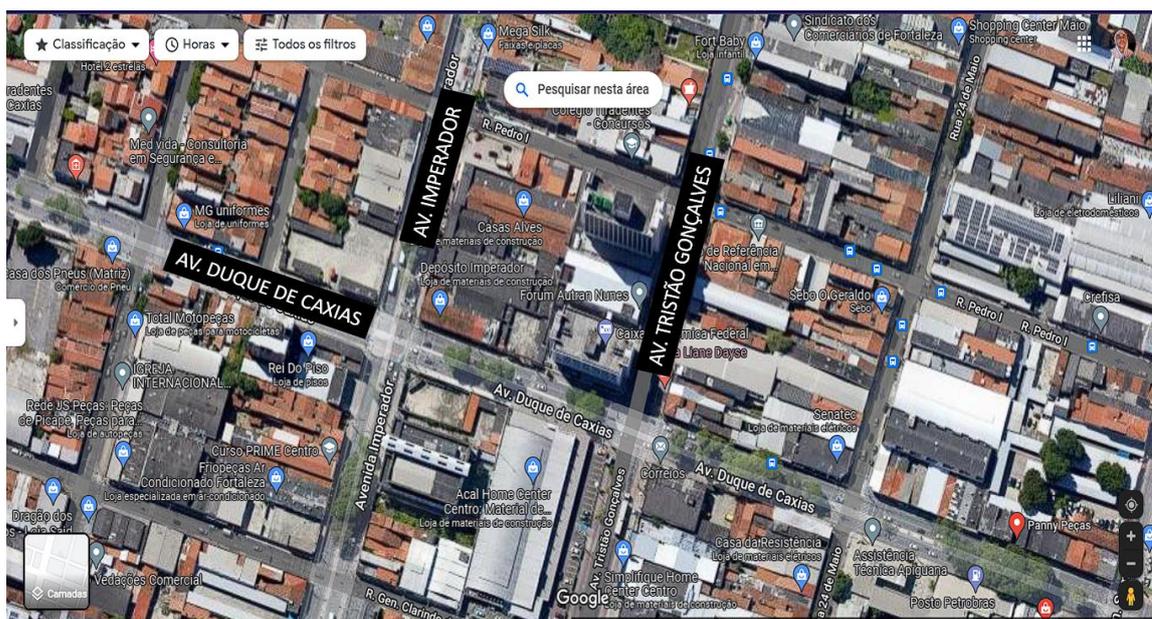
As rodovias são vias rurais pavimentadas que, quando não sinalizadas, podem ter 110 km/h de velocidade máxima para automóveis e motocicletas, 90 km/h para ônibus e micro-ônibus e 80 km/h para demais veículos. Já as estradas são vias rurais não pavimentadas, e possuem velocidade máxima de 60 km/h.

2.2 Segurança no sistema viário de Fortaleza

O sinistro é um acidente, fato imprevisto ou situação inesperada que pode acontecer. No Centro comercial da cidade de Fortaleza encontram-se três dos cinco trechos semaforizados mais críticos do trânsito, ocupam o segundo, quarto e quinto lugar no ranking, respectivamente, os cruzamentos: Avenida Duque de Caxias x Rua

General Sampaio; Avenida Tristão Gonçalves x Avenida Duque de Caxias e Avenida Imperador x Rua General Clarindo de Queiroz. Em todos houve acidentes com pessoas feridas e, em um deles, o da Avenida Imperador, uma pessoa chegou ao óbito. Segundo a edição de 2020 do Anuário da Segurança Viária, publicado pela Prefeitura.

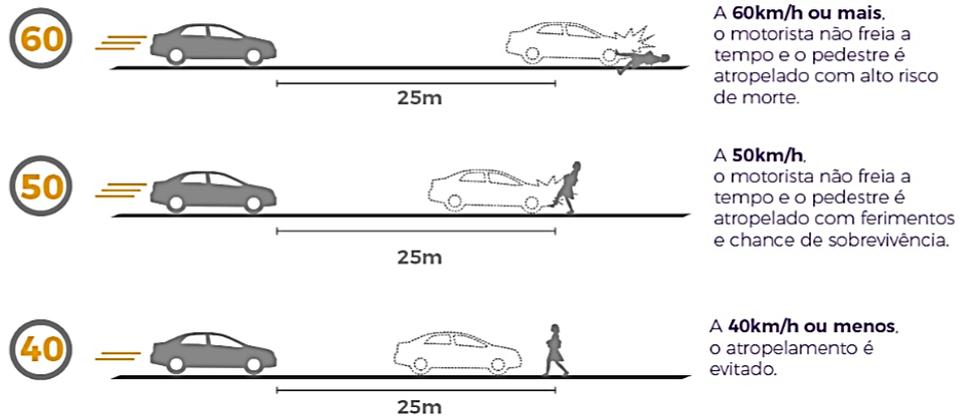
Figura 1: Interseções, Avenida Tristão Gonçalves x Avenida Duque de Caxias e Avenida Imperador



Fonte: Google Maps (2022).

Segundo o Diário do Nordeste (2022), representado pela Figura 2, não importa quão bom o motorista seja, quanto maior a velocidade de deslocamento, mais provável é que ele perca o controle do veículo e maiores serão o tempo e a distância que levará para parar, não podendo evitar que o sinistro ocorra.

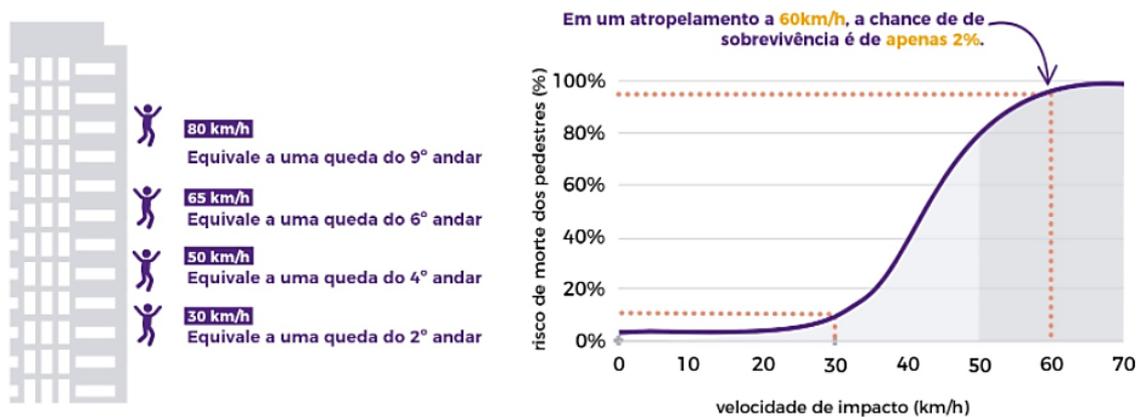
Figura 2: A razão entre a velocidade e o grau de criticidade do sinistro



Fonte: Diário do Nordeste (2022).

Segundo Viana, conforme mostrado na Figura 3, é possível verificar a comparação de um possível atropelamento entre o veículo e o pedestre, analisando a baixa possibilidade de que o sinistro ocorra caso a velocidade média do veículo logo antes deste seja 40Km/h, se comparado a uma velocidade maior, além de ocorrer o sinistro, poderá apresentar um nível crítico à situação vitalícia do pedestre.

Figura 3: As chances de sobrevivência de um atropelamento em relação à velocidade



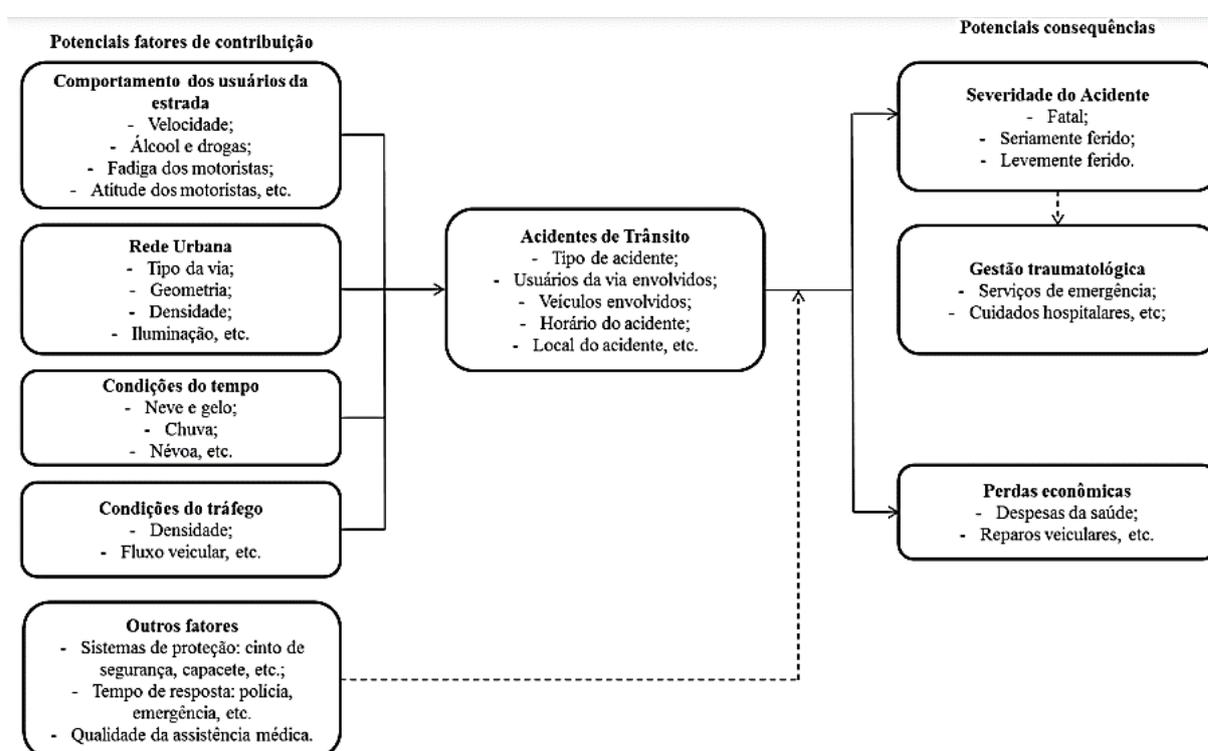
Fonte: Diário do Nordeste, 2021

Um atropelamento com um veículo em velocidade média de 80Km/h é o equivalente a uma queda do 9º andar de um prédio, segundo o diário do Nordeste, caso a velocidade no momento do impacto seja de 60Km/h, as chances de sobrevivência são de 2%. O objetivo dos dados é sustentar a ideia da redução da velocidade média nas vias urbanas.

2.3 Métodos de identificação dos pontos críticos dos sinistros e indicadores

Os diferentes Métodos de Identificação de Pontos Críticos (MIPC) priorizam os locais através de medidas de desempenho e, em seguida, selecionam os locais para posterior tratamento baseado em limites pré-determinados e restrições orçamentárias (MT, 2002; Miranda-Moreno, 2006). Segundo Coll, 2010, os potenciais fatores e consequências dos acidentes de trânsito estão apresentados na Figura 4:

Figura 4: Fatores e consequências de acidentes



Fonte: Coll et al., (2010)

Coll et al. (2010) citam os principais fatores e consequências de acidentes no trânsito e é possível verificar quais estão diretamente interligados com os sinistros que ocorrem em interseções semaforizadas, de forma a fazer um filtro de fatores causadores e passíveis de redução nesses acidentes. As potenciais consequências apontadas serão utilizadas como parâmetro para definições objetivas desse trabalho, bem como o local do acidente e o estado das vítimas envolvidas.

2.4 Medidas de desempenho utilizados pelo MIPC

De acordo com Xavier (2016), os indicadores propostos são adquiridos através da estimação de variáveis e constantes, diferenciando os casos específicos e suprimindo as margens de erro. Na sequência são apresentados os principais indicadores utilizados em sua pesquisa.

Frequência Média de Acidentes (FMA), Taxa de Acidentes (TAC), Taxa Crítica de Acidentes (TCR), Unidade Padrão de Severidade (UPS), Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos (EMM), Nível de Serviço da Segurança (NSS), Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes (EMPA), usando os Modelos de Prevenção de Acidentes (MPA), Probabilidade de um tipo específico de acidente exceder um Limite de Proporção (ELP), Excesso na proporção de Acidentes Específicos (EPAE), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste empírico de Bayes (EB), Frequência Média de Acidentes UPS com ajuste empírico de Bayes (UPS - EB), Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste empírico de Bayes (EEB) e Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB).

A Frequência Média de Acidentes (FMA) e Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos (EMM) serão utilizados quando há a necessidade de encontrar os dados de acidentes por localidade específica, mas normalmente a sequenciação apresentada das medidas de desempenho seguirão o critério do número de casos necessário para que elas sejam aplicadas.

A Frequência Média de Acidentes (FMA) se destaca por ser a medida mais simples, porém é limitada já que não leva em consideração o fenômeno de regressão à média (FRM), não considera o volume de tráfego e não identifica locais com baixo número de colisões, nas quais intervenções baseadas no custo-benefício seriam aplicadas de forma mais generalizada. Conforme na Equação 1: Frequência Média de Acidentes (FMA)

$$N_{observado,i(ajustado)} = N_{observado,i} + \frac{N_{observado.pr}}{Var(N)} \cdot (N_{observado.pr} - N_{observado,i})$$

Equação 1: Frequência Média de Acidentes (FMA)

Onde o $N_{\text{observado},pr}$ é a frequência média de acidentes para um determinada população de referência, i é o local e a Var (N) é a variância da amostra. Para determinar o potencial de melhoramento é subtraído a frequência média dos acidentes observados e faz-se o ajuste com a frequência média dos acidentes para uma determinada população tomada como referencial.

Xavier deduziu a fórmula da Probabilidade de um tipo pontual de acidente exceder um limite de Proporção (ELP) e a classificou:

[...] classifica pontos de acordo com a probabilidade em que uma proporção verdadeira de um tipo específico de acidente, p_i , seja maior do que um limite de proporção, p^* i deve ser determinar qual tipo específico de acidentes será avaliado, ou seja, determinar o foco da análise, como foi descrito na seção de MIPC. O p_i é obtido pela razão entre o número de acidentes de um tipo específico em relação ao número total de acidentes de um determinado local. Já o p^* é a razão entre o somatório de todos os acidentes de um tipo específico em relação ao somatório do total de acidentes para uma determinada população de referência (XAVIER, 2016).

Em seguida calcula-se a variância da amostra com o uso da seguinte equação (2).

$$\text{Var (N)} = \left(\frac{1}{n_{\text{locais}}-1}\right) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{\text{observado},i}^2 - N_{\text{observado},i} \cdot N_{\text{observado},i(\text{total})}}{N_{\text{observado},i(\text{total})}^2 - N_{\text{observado},i(\text{total})}\right) \left(\frac{1}{n_{\text{locais}}}\right) \times \left(\sum_{i=1}^n \frac{N_{\text{observado},i}}{N_{\text{observado},i(\text{total})}}\right)\right]$$

Equação 2: Exceder um limite de Proporção

Em que, n_{locais} corresponde ao número total de locais da amostra, $N_{\text{observado},i}$ ao número de acidentes de um tipo específico e $N_{\text{observado},i(\text{total})}$ ao número total de acidente de um determinado local. Logo após, calcula-se a média amostral da proporção de acidentes de um tipo específico (p^*), obtida pela razão do somatório de cada P_i em relação ao número total de locais. A partir disso, os parâmetros α e β são calculados da seguinte maneira:

$$\alpha = \frac{P * i^2 - P * i^3 - s^2(P * i)}{Var(N)}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{P * i} - \alpha$$

Equação 3: parâmetros α e β

Ainda, a probabilidade de um tipo determinado e específico de acidente de um determinado local exceder a proporção média entre a somatória dos acidentes é obtida da seguinte maneira:

$$P\left(\frac{pi > P * i}{N_{observado.i}, N_{observado.i(total)}}\right) = 1 - betadist(p * i, \alpha + N_{observado.i}, \beta + N_{observado.i(total)} - N_{observado.i})$$

Equação 4: exceder a proporção média entre a somatória dos acidentes

O Excesso na proporção de Acidentes Específicos (EPAE) classifica os locais de acordo com a diferença entre a probabilidade de uma proporção de um tipo específico de acidente, pi , e um limite de proporção, $p * i$. Os pontos que possuem vantagens e limitações são análogos ao método da medida de desempenho ELP.

A Taxa de Acidentes (TAC) insere a variável volume de tráfego que é calculada como milhões de veículos entrantes (MVE) da seguinte maneira:

$$MVE = \frac{TVE}{10^6} \cdot n \cdot 365$$

Equação 5: Taxa de Acidentes

Onde, TVE representa o total de veículos que entram no dia e n o número de anos de dados de colisões. A taxa de acidentes é obtida pelo quociente entre o total de acidentes observados e o MVE de um determinado local.

A Taxa Crítica (TCR) assume que a ocorrência de acidente em um determinado local da área urbana obedece a distribuição de Poisson com média igual a variância. A TCR é comparada com a Taxa de Acidentes para cada local. Já com a taxa de acidentes calculada, obtém-se a taxa de acidentes média ponderada para uma população de referência (TAC_p) da seguinte maneira:

$$TAC_p = \frac{\sum_{i=1} TVE \cdot TAC}{\sum_{i=1} TVE}$$

Equação 6: Taxa de acidentes média

A Taxa Crítica de Acidentes é obtida pela seguinte equação:

$$TCR = TAC_p + \left[P * \sqrt{\frac{TAC_p}{MEV_i}} \right] + \left[\frac{1}{(2 * MEV_i)} \right]$$

Equação 7: Taxa Crítica de Acidentes

Os locais que possuem sua TAC maior que a sua TCR será destinada a revisões futuras. Pelo fato de ser comparada com a TAC de um determinado local, a medida TCR continua sem considerar o FRM, para critérios de análises quando utilizado.

A Unidade Padrão de Severidade (UPS) é uma medida que necessita de dados de acidentes totais e por severidade de acidentes. O método de agregação dos indicadores é baseado no valor por severidade do acidente e o grau de peso para cada indicador contém o manual brasileiro PARE (MT, 2002), sendo equacionada da seguinte maneira:

UPS = Acidentes somente com danos materiais x 1
 + Acidentes com feridos x 4
 + Acidentes com feridos envolvendo pedestres x 6

+ Acidentes com vítimas fatais x 13.

As medidas a seguir utilizam um modelo de regressão estimando o número de acidente: Nível de Serviço da Segurança (NSS), Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes usando os MPA (EMPA), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste empírico de Bayes (EB), Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste empírico de Bayes (EEB) e Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB).

Para obter o Nível de Serviço da Segurança (NSS) os locais são classificados de acordo com a comparação da sua frequência de acidentes média observada ($N_{\text{observado}}$) com a frequência média prevista pelo MPA de previsão de acidentes (MPA). O grau de desvio médio (σ) da frequência média prevista do acidente é dividido em quatro classes de Nível de Serviço da Segurança e é calculado como segue:

$$\sigma = \sqrt{k * MPA^2}$$

Equação 8: Grau de desvio médio (σ)

Figura 5: Categorias do Nível de Serviço da Segurança

NSS	Condição	Descrição
I	$0 < N_{\text{observado}} < (MPA - 1,5 \times (\sigma))$	Indica um baixo potencial na redução de acidentes
II	$(MPA - 1,5 \times (\sigma)) \leq N_{\text{observado}} < MPA$	Indica um potencial entre baixo e moderado na redução de acidentes
III	$MPA \leq N_{\text{observado}} < (MPA + 1,5 \times (\sigma))$	Indica um potencial moderado na redução de acidentes
IV	$N_{\text{observado}} \geq (MPA + 1,5 \times (\sigma))$	Indica um alto potencial na redução de acidentes

Fonte: (AASHTO, 2010).

O Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Modelo de Previsão de Acidentes (EMPA) é a diferença entre a frequência média de acidentes

observados e a frequência média de acidentes previstos pelo MPA. Esta medida não leva em conta o FRM pelos mesmos motivos da medida NSS.

A Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB) aplica-se quando a variável de resposta tem dois resultados possíveis. Assim, a variável dependente de categoria $Y=0$ identifica locais seguros e a categoria $Y=1$ identifica um local como ponto crítico.

Os locais críticos são identificados considerando um valor de número observado de acidentes limite acima do qual se considera o local como crítico. Por isso, esta medida de desempenho ainda possui o FRM presente nos seus dados. Nos modelos de resposta qualitativa como é o modelo binário, a regressão latente reflete uma variável não observada y^* , obtida por:

$$y^* = x\beta + \varepsilon$$

Equação 9: Modelo Binário

Alguns estudos comparativos de medidas de desempenho apresentam o Método Empírico de Bayes (EB) como sendo o de melhor desempenho e mais consistente (Elvik, 2008; Montella, 2010).

De acordo com Hauer (2002), a aplicação do método empírico de Bayes aumenta a precisão das estimativas e incorpora o FRM através do reconhecimento da frequência observada de acidentes. Além do desempenho da segurança viária da entidade, é necessário ainda o conhecimento da segurança em entidades similares. Assim estas duas informações são ponderadas em conjunto da seguinte maneira:

$$E\{K\} = \alpha E\{k\} + (1 - \alpha)K$$

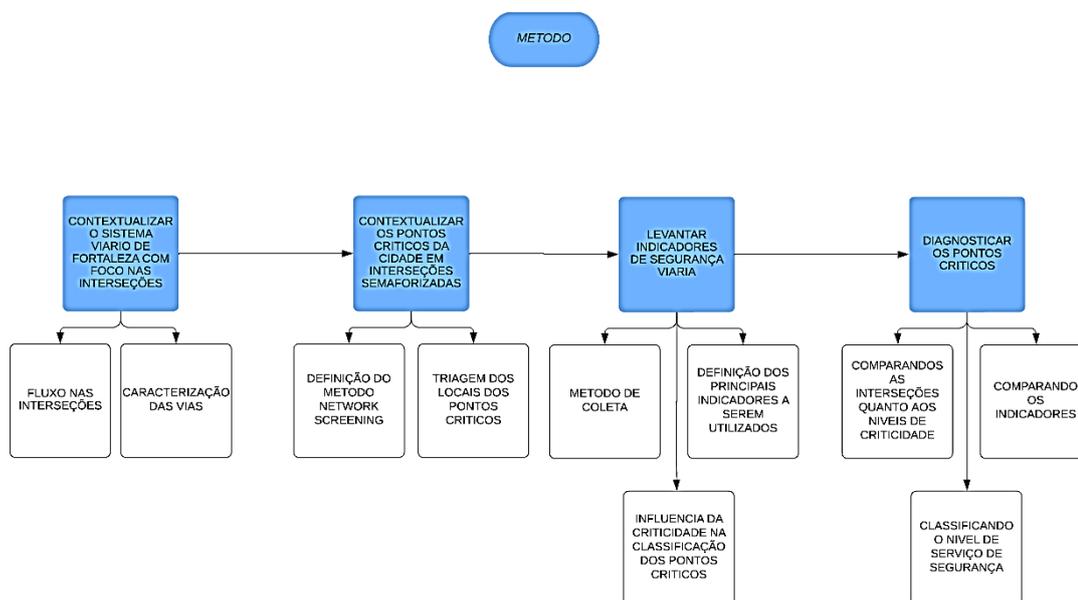
Equação 10: Método empírico de Bayes

Em que, $E\{\kappa|K\}$ é o valor “esperado” do número de acidentes (κ) para a entidade de interesse (sabendo que a entidade apresentou K acidentes em um certo período) e α corresponde ao peso (valor entre 0 e 1). $E\{\kappa\}$ indica o número médio previsto de acidentes em entidades similares (população de referência) e K o número de acidentes observados na entidade. Ressalta-se que $E\{K\}$ é estimado com o emprego de modelos de previsão de acidentes (MPA) os quais deverão ser desenvolvidos para as entidades de interesse. Dessa maneira, o EB não é influenciado pelo FRM.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho é fundamentado na análise de dados coletados pelo Sistema de Informações em Acidentes de Trânsito – SIAT (2017) que apontam os principais pontos críticos originados por sinistros na capital cearense. A escolha dos dados coletados nesse ano se deu, pois, foi um período pré-pandemia e em concordância com os objetivos desse trabalho, esperou-se que os resultados apresentados não sofressem influência do trânsito desregulado em que se encontrou nos anos posteriores. Para introduzir essa análise o método foi executado por tópicos e subtópicos conforme o fluxograma apresentado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma do método



Fonte: Autor, 2022

3.1 Fluxo nas interseções e caracterização das vias

Para prefixar as informações coletadas é de grande importância mencionar o modelo de fluxo de veículos e pedestres nas avenidas de Fortaleza, considerando os

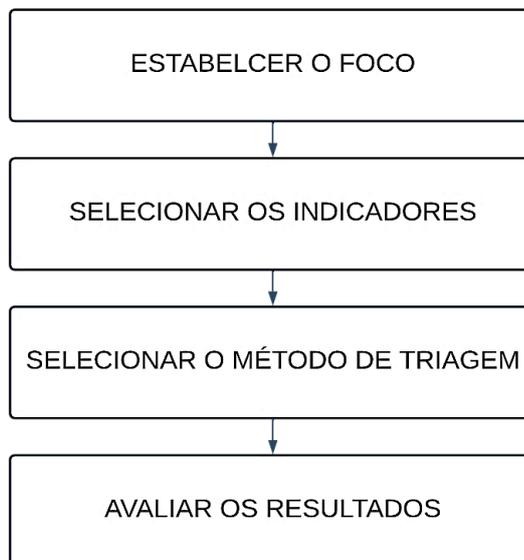
sentidos dos deslocamentos e a forma de utilização do solo através do sistema rodoviário e trânsito de pessoas.

3.2 O método *Network Screening*

Esse método estadunidense, proposto pelo manual americano de segurança viária, *Highway Safety Manual (HSM)*, para identificação dos pontos críticos, segundo Xavier (2016): “[...] é usado como referência para técnicos e pesquisadores de segurança viária em diversos países, sendo assim objeto do presente estudo”, também foi utilizado como parâmetro para apontar os principais pontos críticos nesse trabalho.

O fluxograma detalhado do método pode ser verificado na figura 7.

Figura 7: *Network Screening*



Fonte: (AASHTO, 2010).

3.3 Triagem dos locais dos pontos críticos

No que tange ao item “Estabelecer o foco”, escolheu-se como parâmetro a Unidade Padrão de Severidade (UPS), para isso foi fundamental considerar os tipos

de gravidade fatal e feridos, além do volume diário médio anual de veículos que cruzam as interseções, a fim de usá-los como parâmetro para a redução de acidentes dos graus de criticidade. Com o foco definido, foi parametrizado também que o ponto da via a ser analisado trata-se da interseção entre avenidas e essas vias foram organizadas em um grupo de análise, a fim de encontrar as medidas de desempenho estimadas pelo MIPC e classificar as vias pelo Nível de Serviço de Segurança. O terceiro fator utilizado foi o Volume Diário Médio Anual (VDMA), a fim de compreender como funciona o fluxo de veículos nas interseções.

3.4 Método de coleta

Os dados analisados foram coletados pelo SIAT (2017) baseando-se em 10 interseções, considerando o fluxo de veículos e pedestres das principais vias de Fortaleza. O modelo de coleta se deu, majoritariamente, através da observação por câmeras e minoritariamente através de contagem de casos fornecidos pelo estado. A escolha das 29 interseções se deu de forma aleatória, mas considerando as doze regionais do município e a coleta foi averiguada para o ano inteiro. No que se refere à análise de segurança viária, geralmente a observação se parametriza no ano inteiro a fim de demonstrar uma noção maior de variação.

3.5 Definição dos principais indicadores

O método progrediu com a escolha das medidas de desempenho, denominadas ainda de indicadores. As medidas escolhidas foram o UPS que se baseia no cálculo através do levantamento de sinistros totais tendo um peso maior os fatais e feridos, NSS, que se baseia em uma potência de expoente considerado como o grau de desvio médio (σ), na incidência de vítimas fatal + ferido (N observado), no MPA, baseado no número de faixas da interseção e no volume diário médio anual (VDMA) que costuma passar pelas interseções. Outro indicador a ser apresentado e analisado é o EMPA. O MPA foi calculado a partir da equação 11, citada abaixo:

$$(2,7182818^{-11,19}) \times (VDMA^{0,98}) \times (2,7182818^{(0,095 \times N^{\circ} \text{ de faixas})})$$

Em que os valores encontrados para cada interseção utilizaram o VDMA e o número de faixas predefinidos da interseção analisada. Estando disponíveis os valores do MPA, é possível definir o EMPA através da subtração entre o MPA e o número de vítimas fatal + feridos (N observado), também pré-estabelecidos na coleta do SIAT, conforme apresentado na equação 12.

$$EMPA = (MPA - (N \text{ observado}))$$

Os dados do MPA e do N observado também são utilizados para encontrar o grau de desvio médio, representado pela letra grega sigma (σ), através da equação 13.

$$\sigma = ((N \text{ observado}) \times (MPA) \times (MPA))^{0,5}$$

Os dados de NSS foram calculados através das condições estabelecidas e tabeladas pela Associação Norte-americana de Especialistas rodoviários e de transporte, anteriormente denominada como AASHTO (2010) e utilizado pelo SIAT para classificar as interseções analisadas.

Segundo a classificação da AASHTO, caso o número de mortos somado ao de feridos seja menor que a diferença entre o modelo de previsão de acidentes por 3/2 do grau de desvio médio, classifica-se o Nível de Serviço de Segurança como sendo de classe I. Caso o número observado seja menor que o modelo de previsão, classifica-se como nível II. Caso o número observado seja menor que a soma do modelo de previsão com 3/2 do grau de desvio médio, o nível é classificado como III e por último, caso o número observado seja maior ou igual a soma do modelo de previsão com 3/2 do grau de desvio médio, o NSS é classificado como de nível IV.

Essa equação foi inserida na ferramenta Excel para atribuir o NSS à todas as interseções.

Os dados da UPS são calculados através do levantamento de sinistros totais tendo um peso maior os fatais e feridos. As atribuições são as seguintes: acidentes somente com danos materiais devem ser multiplicados por 1, acidentes com feridos devem ser multiplicados por 4, acidentes com feridos envolvendo pedestres recebem peso 6 e acidentes com vítimas fatais recebem peso 13, como mostrado na equação 14.

$$UPS =$$

$$SE \text{ nº de atropelamento com vítimas} = 0, \text{ então, } (ilesos + (Feridos * 4)) + (Mortos * 13))$$

$$SE \text{ nº de atropelamento com vítimas} \neq 0, \text{ então, } ((ilesos + ((Feridos - \text{atropelamento com vítimas}) * 4) + (\text{atropelamento com vítimas} * 6)) + (Mortos * 13));$$

Equação 14: Cálculo da UPS

3.6 Ferramentas utilizadas

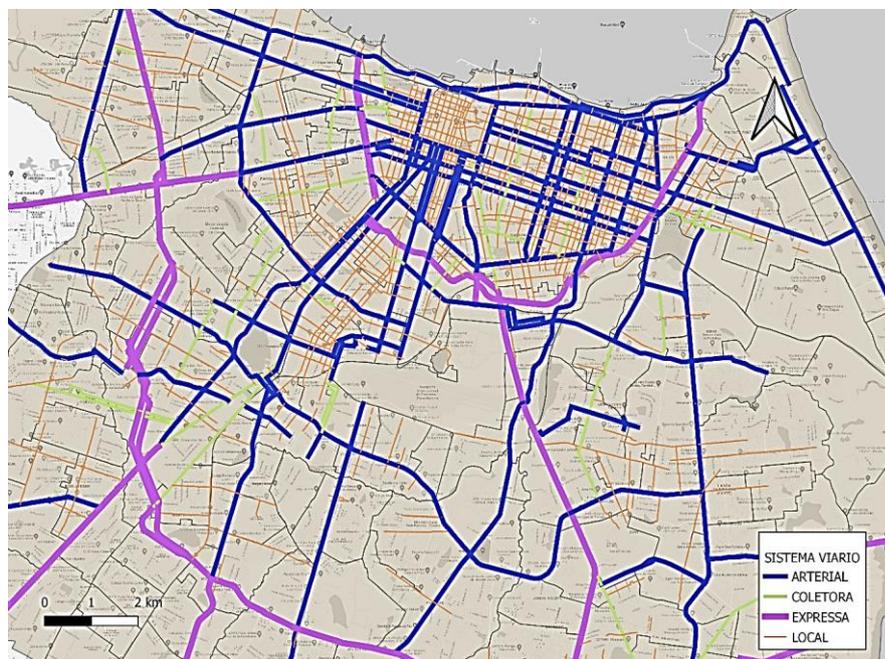
Foram utilizadas ferramentas para auxílio do cálculo dos indicadores para todas as interseções e para a produção dos mapas de classificação das interseções. Os mapas foram produzidos através da ferramenta Qgis, utilizando amplitudes e intervalos, além de legendas com cores e valores de classificação. O cálculo dos indicadores, a fim de gerar produtividade na apresentação dos dados foi realizado através da ferramenta Excel, que apresenta colunas e linhas em que é possível adicionar fórmulas matemáticas e obter resultados exatos e satisfatórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA

Um dos principais e mais relevantes fatores necessários para compreender a segurança viária de Fortaleza é a apresentação dos tipos de vias. Para cada tipo de via, teoricamente, espera-se normativamente que haja uma velocidade média de tráfego permitida, já que altas velocidades em alguns tipos de vias podem colaborar para o aumento de acidentes. O sistema viário de Fortaleza é composto por múltiplas vias, as principais são: Arterial, Coletora, Expressa e Local, sendo apresentadas na Figura 8.

Figura 8: Sistema viário de Fortaleza

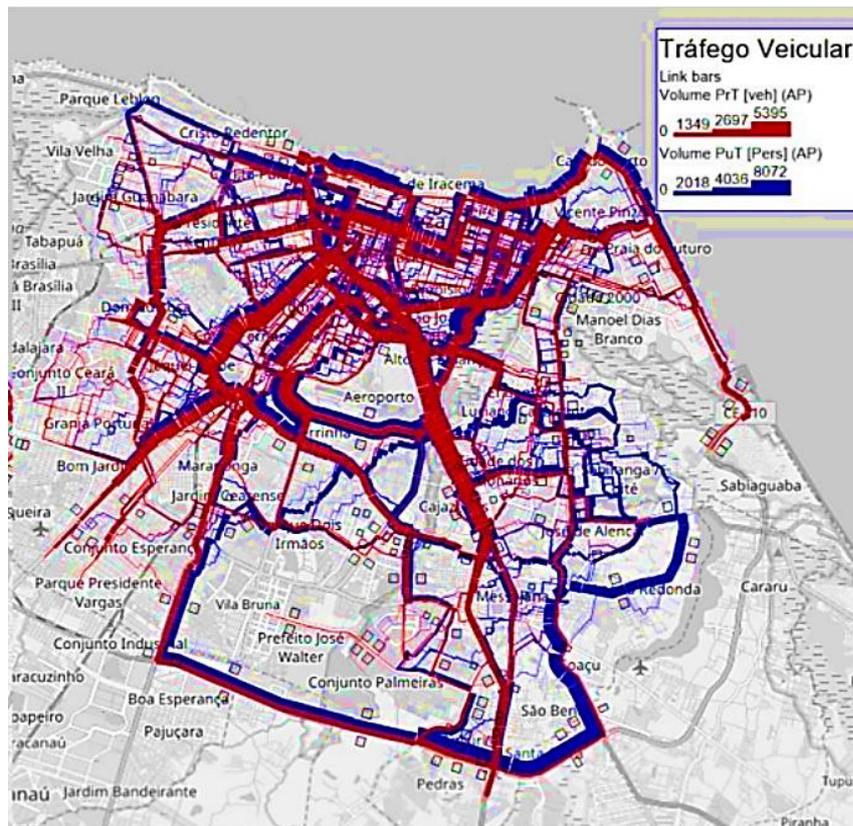


Fonte: Autor, 2022

As Vias Arteriais também têm como principal característica o tráfego de passagem, porém estas possuem interrupções, o controle de acesso é parcial e as interseções são em nível e espaçadas, uma vez que quanto maior o espaçamento, maior a eficiência do trânsito. As Vias Coletoras, com sua velocidade máxima de 40 km/h, têm o objetivo de, como o próprio nome diz, “coletar” e, ainda, distribuir os usuários, auxiliando nas conexões com as Vias de Trânsito Rápido, Vias Arteriais e Locais, o que permite deslocamentos dentro das regiões de uma cidade, além de acesso ao interior da mesma. As vias expressas são estradas de acesso limitado em áreas populosas, desenhadas para permitir o tráfego motorizado em alta velocidade

por longas distâncias. Algumas passam pelos centros das cidades, enquanto outras circundam o centro urbano. As Vias Locais são caracterizadas pelos acessos e pelas interseções em nível, geralmente o tráfego é por automóveis e com velocidade recomendada de 30, conforme são apresentadas na Figura 9.

Figura 9: Fluxo de veículos das vias de Fortaleza



Fonte: Autor, 2022

Na figura 9 são apresentadas as concentrações do fluxo de veículos em toda a cidade de Fortaleza. É possível visualizar, observando as linhas vermelhas, que representam o grande fluxo de veículos, exemplificado pela grossura das linhas, que tendem a se concentrar nas vias expressas, que interligam as periferias da cidade ao Centro, normalmente são mais largas e apresentam mais faixas. De forma oposta, são apresentadas as vias arteriais que normalmente dispersam os usuários entre as regionais do município.

4.2 Classificação dos pontos críticos

O parâmetro utilizado foi a definição do UPS. Para isso foi necessária a utilização dos dados fornecidos pelo SIAT, que englobam a utilização dos fatores necessários para estimar o grau de severidade, são eles: VDMA, $N_{\text{observado}}$, MPA, EMPA, NSS, Número de faixas e grau de desvio médio (σ).

A escolha do VDMA se deu, pois, esse indicador aponta o fluxo de veículos diário que passam pelas interseções, ou seja, quanto maior o fluxo de veículos, maior é a probabilidade de haver sinistros com vítimas. A utilização do VDMA é de grande importância para classificar o NSS das interseções analisadas

O $N_{\text{observado}}$ é a soma do número de feridos e o número de fatais e é essencialmente utilizado para a definição do UPS e do NSS, pois a idealização é que o número de vítimas seja reduzido. O MPA é o modelo de previsão de acidentes, esse utiliza o número de faixas e o VDMA como parâmetro. O grau de desvio médio e o EMPA utilizam-se do MPA e do $N_{\text{observado}}$ para suas classificações. Esses indicadores foram calculados para as 10 interseções analisadas neste trabalho.

4.3 Comparando as interseções com maior e menor quantidade de pontos críticos

Os dados fornecidos pelo SIAT foram apresentados baseando-se no número total de vítimas por interseção e foram distribuídos em fatores de criticidade dos sinistros, são eles: Fatal, Ferido, Ileso, Fatal + Ferido, VDMA e Número de Faixas, conforme apresentado no Figura 7.

Figura 10: Interseções Siat 2017

Nº	INTERSEÇÕES	FATAL	FERDO	ILESO	(FAT+FER)	TOTAL	VDMA	N FAIXAS
1	AV FRANCISCO SAX X AV DR THEBERGE	1	12	16	13	30	35229	8
2	AV JOSE JATAHY X AV BEZERRA DE MENEZES	0	13	25	13	38	54399	13
3	AV DOS EXPEDICIONARIOS X RUA BERNARDO MANUEL X AV PRS COSTA E SILVA	1	8	19	9	28	68741	12
4	AV GODOFREDO MACIEL X RUA NEREU RAMOS	0	16	18	16	34	62241	8
5	AV JOSE JATAHY X AV JOVITA FEITOSA X AV 13 DE MAIO	0	11	11	11	22	50814	11
6	AV JOAO PESSOA X RUA PRO COSTA MENDES	2	8	9	10	19	27600	5
7	AV JOSE JATAHY X AV SGT HERMINIO SAMPAIO X RUA CARNEIRO DA CUNHA (JACARECANGA)	0	12	5	12	17	37257	10
8	AV DES MOREIRA X AV ABOLICAO	1	6	31	7	38	59900	12
9	RUA TEN BENEVOLO X AV RUI BARBOSA	2	5	8	7	15	14782	4
10	AV OLIVEIRA PAIVA X AV DES GONZAGA	0	8	26	8	34	54090	10
11	AV ALM HENRIQUE SABOIA X AV ENG ALBERTO SA X RUA TAVARES COUTINHO	2	9	9	11	20	45400	8
12	RUA DES PRAXEDES X AV JOAO PESSOA	1	12	8	13	21	22200	5
13	RUA CEL VIRGILIO NOGUEIRA (BOM JARDIM) X RUA BOM JESUS (GRANJA LISBOA)	0	12	5	12	17	14329	6
14	AV DOM MANUEL X AV VIS RIO BRANCO X RUA PDE VALDEVINO	0	7	15	7	22	21914	10
15	AV IMPERADOR X AV DUQ CAXIAS	0	8	5	8	13	35100	8
16	RUA RIO GRANDE DO NORTE X AV JOSE BASTOS X RUA BAR SOBRAL	0	7	7	7	14	68423	8
17	AV MOZART PINHEIRO DE LUCENA X AV MAJ ASSIS	0	8	5	8	13	17200	12
18	AV DOMINGOS OLIMPIO X RUA JAIME BENEVOLO	0	8	12	8	20	34403	8
19	AV MON TABOSA X RUA CARLOS VASCONCELOS	1	6	12	7	19	23447	6
20	RUA GAL SAMPAIO X RUA DR JOAO MOREIRA	0	9	12	9	21	25142	5
21	RUA CARLOS VASCONCELOS X RUA PDE VALDEVINO	0	8	6	8	14	23645	5
22	AV BEZERRA DE MENEZES X RUA ERETIDES MARTINS X RUA DOM LINO	1	4	4	5	9	36962	10
23	AV IMPERADOR X RUA SAO PAULO	0	8	6	8	14	20891	6
24	RUA JUVENAL GALENO X AV CARAPINMA	0	7	6	7	13	42740	9
25	AV OLAVO BILAC X AV BEZERRA DE MENEZES X RUA AMADEU FURTADO	0	5	12	5	17	59020	10
26	RUA SALDANHA MARINHO X RUA JAIME BENEVOLO	0	8	12	8	20	19814	4
27	RUA CEARA X AV JOSE BASTOS	0	8	5	8	13	49500	6
28	RUA PE IBIAPINA X AV DUQ CAXIAS	0	6	10	6	16	35300	9
29	AV LUCIANO CARNEIRO X RUA DES PRAXEDES	0	7	8	7	15	27500	7

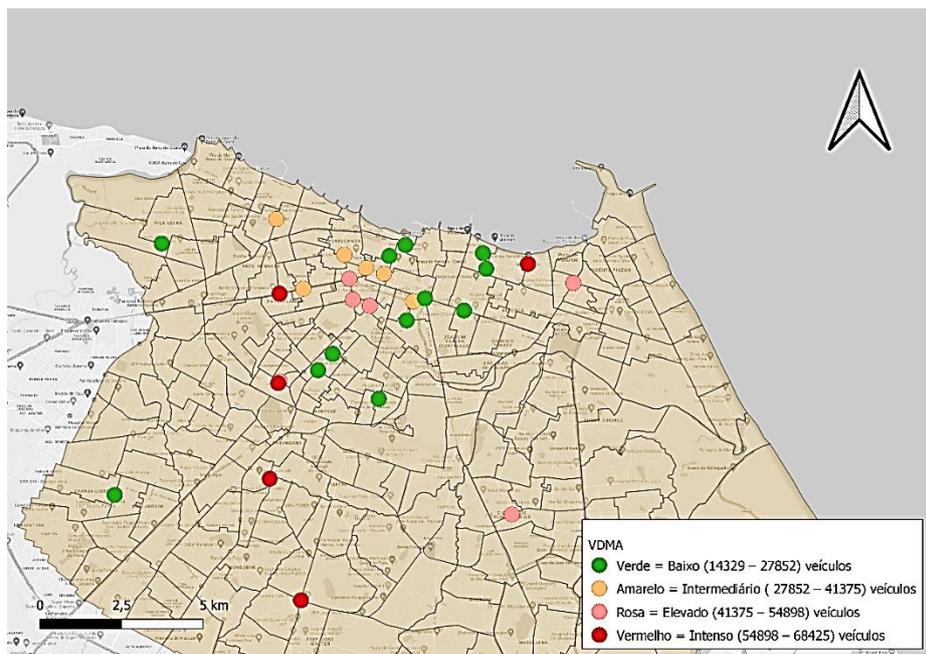
Fonte: Autor, 2022

A distribuição das interseções no quadro foi feita de forma aleatória e classificada posteriormente na escolha de dez interseções com mais pontos críticos encontrados. A coleta dos dados apresentados foi feita, majoritariamente, através de observação por câmeras e minoritariamente através de contagem de casos fornecidos pelo estado.

4.4 VDMA (Volume Diário Médio Anual)

As 29 interseções analisadas foram distribuídas em 4 intervalos de volume médio diário anual de veículos que cruzam as interseções. O fluxo mínimo é de 14329 veículos e o máximo é de 68423 veículos. A intensidade do fluxo de veículos é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Mapa de intervalos do VDMA (14000 – 70000 veículos)



Fonte: Autor, 2022

O intervalo médio entre as interseções foi calculado da seguinte forma:

$$At = (VDMA_{MAIOR} - VDMA_{MENOR})$$

$$At = 68.423 - 14.329 = 54.094$$

Equação 15: Intervalo médio entre as interseções

Em que **At** é a amplitude total existente entre o maior e menor valor do fluxo de veículos que passa pelas interseções. O número de intervalos escolhido foi 4, com o intuito de distribuir a amplitude do volume de veículos e classificá-los em intervalos de ordem crescente. A amplitude do intervalo é dada pela seguinte equação:

$$Ai = \frac{At}{4}$$

$$Ai = \frac{54.094}{4} = 13.523,5$$

Equação 16: Amplitude do intervalo

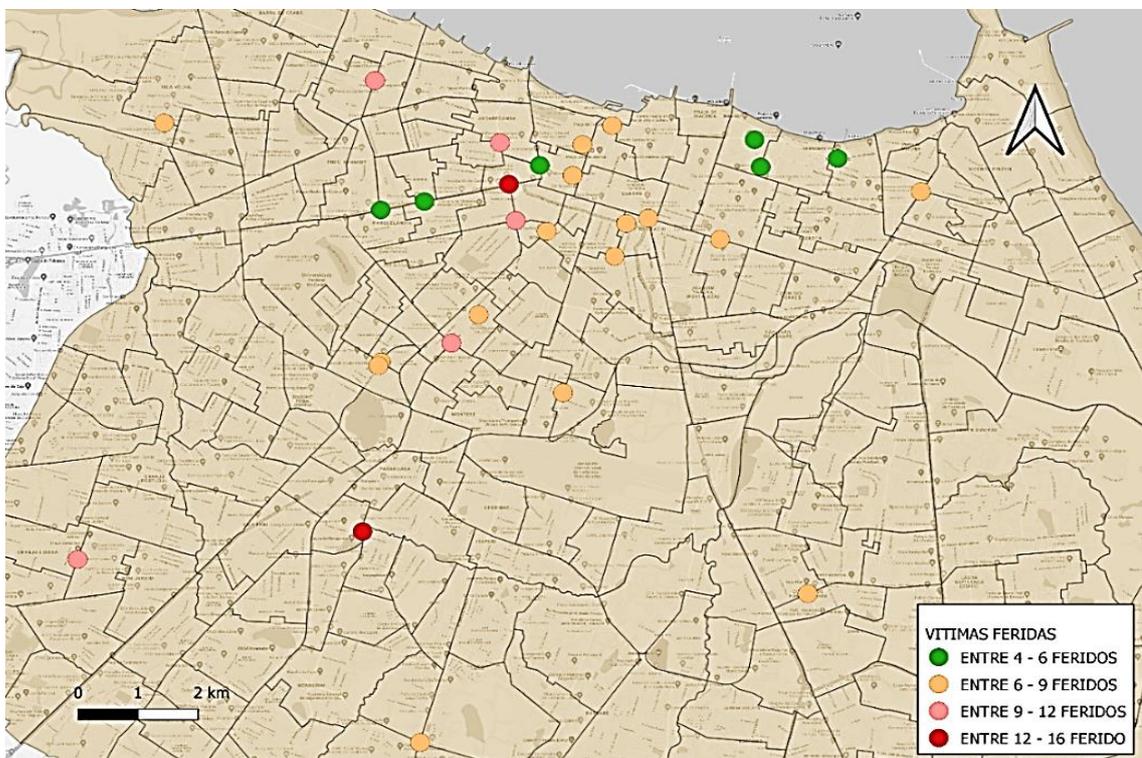
Em que Ai informa a amplitude utilizada em cada um dos intervalos escolhidos, a saber:

- Verde = Baixo (14329 – 27852) veículos
- Amarelo = Intermediário (27852 – 41375) veículos
- Rosa = Elevado (41375 – 54898) veículos
- Vermelho = Intenso (54898 – 68425) veículos

4.5 Vítimas feridas

As vinte e nove interseções analisadas foram distribuídas em quatro intervalos que classifica a quantidade de números de feridos nos sinistros nas interseções. O objetivo dessa classificação é apontar que quanto maior o número de feridos mais pontos críticos podem haver naquela interseção. O número de vítimas feridas é apresentado na Figura 12.

Figura 12: Mapa do intervalo de vítimas feridas (4 – 16)



Fonte: Autor, 2022

O intervalo médio entre as interseções foi calculado da seguinte forma:

$$At = (Feridos_{MAIOR} - Feridos_{MENOR} + 1)$$

$$At = 16 - 4 + 1 = 13$$

Equação 17: Intervalo médio entre as interseções

Em que **A** é a amplitude existente entre o maior e menor número de vítimas feridas nos sinistros em cada interseção. O número de intervalos escolhido foi 4, com o intuito de distribuir a amplitude do número de vítimas feridas e classificá-los em intervalos de ordem crescente. A amplitude do intervalo é dada pela seguinte equação:

$$Ai = \frac{At}{4}$$

$$Ai = \frac{13}{4} = 3,25$$

Equação 18: Amplitude do intervalo

Em que A_i informa a amplitude utilizada em cada um dos intervalos escolhidos, a saber:

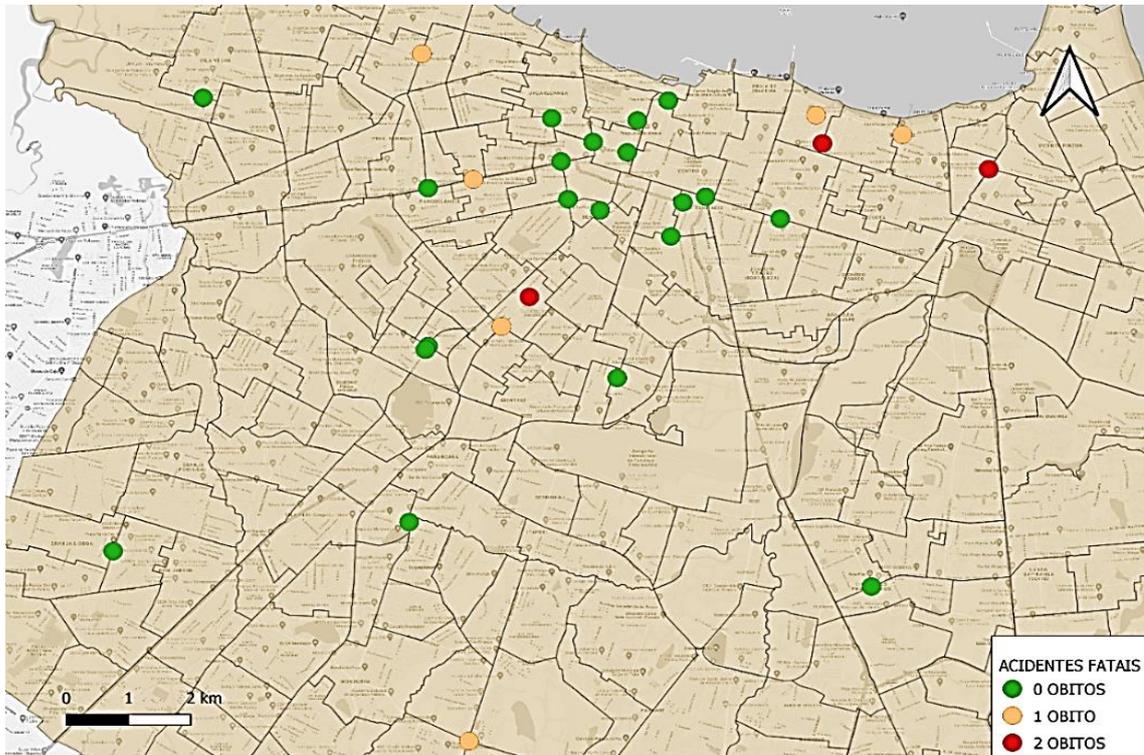
- Verde = de 4 a 6 vítimas
- Amarelo = de 7 a 9 vítimas
- Rosa = de 10 a 12 vítimas
- Vermelho = de 13 a 16 vítimas

A amplitude total encontrada foi um valor ímpar (13), por isso a última amplitude de intervalos (vermelho) teve o valor 1 acrescentado ao resultado.

4.6 Vítimas Fatais

Das 29 interseções analisadas foi feita a distribuição em 3 intervalos de vítimas fatais nas interseções. O número mínimo foi de 0 e o máximo de 2 óbitos. As interseções onde houveram vítimas fatais são apresentadas na Figura 13.

Figura 13: Mapa de número de vítimas fatais



Fonte: Autor, (2022)

Não há intervalo e nem amplitude nessa seção, pois o número de vítimas é dividido em três grupos de interseções, as que tiveram 0 óbitos, as que tiveram 1 óbito e as que tiveram 2 óbitos.

- Verde = 0 vítimas
- Amarelo = 1 vítimas
- Vermelho = 2 vítimas

O número de óbitos é representado pela cor vermelha, considerando que o fator "fatal" é um dos principais indicadores de severidade de acidente, apontando quais interseções se classificam como primárias em necessidade de intervenção. A classificação de severidade prossegue com o número de feridos e o volume diário

médio anual de veículos nas interseções, respectivamente, sendo possível assim, classificar quais as dez interseções têm os maiores fatores de criticidade, do maior para o menor, a considerar o número de vítimas fatais, número de vítimas feridas e volume diário médio anual de veículos, nessa ordem.

4.7 Escolha das 10 principais interseções

Com a classificação das dez interseções consideradas como as mais críticas entre as vinte e nove, é possível verificar a distribuição aleatória de outros fatores que não intervêm diretamente no grau crítico do local, como o número de faixas e o total de acidentes ocorridos. Apesar dessa variância, esses fatores são essenciais para calcular o modelo de previsão de acidentes e o nível de serviço de segurança.

Figura 14: As interseções que apresentam maiores graus de severidade

Nº	INTERSEÇÕES	TOT.ACID.	FATAL	FERIDO	ILESO	(FAT+FER)	TOTAL	VDMA	N FAIXAS
1	AV ALM HENRIQUE SABOIA X AV ENG ALBERTO SA X RUA TAVARES COUTINHO	9	2	9	9	11	20	45400	8
2	AV JOAO PESSOA X RUA PRO COSTA MENDES	9	2	8	9	10	19	27600	13
3	RUA TEN BENEVOLO X AV RUI BARBOSA	8	2	5	8	7	15	14782	12
4	AV FRANCISCO SA X AV DR THEBERGE	16	1	12	16	13	30	35229	8
5	RUA DES PRAXEDES X AV JOAO PESSOA	8	1	12	8	13	21	22200	11
6	AV DOS EXPEDICIONARIOS X RUA BERNARDO MANUEL X AV PRS COSTA E SILVA	16	1	8	19	9	28	68741	5
7	AV DES MOREIRA X AV ABOLICAO	20	1	6	31	7	38	59900	10
8	AV MON TABOSA X RUA CARLOS VASCONCELOS	8	1	6	12	7	19	23447	12
9	AV BEZERRA DE MENEZES X RUA ERETIDES MARTINS X RUA DOM LINO	5	1	4	4	5	9	36962	4
10	AV GODOFREDO MACIEL X RUA NEREU RAMOS	18	0	16	18	16	34	62241	10

Fonte: Autor, (2022)

4.8 Comparando os indicadores

Com a classificação das interseções e escolha das dez que apresentam maior criticidade, foi possível calcular os indicadores utilizando os fatores supracitados. Para explicar as equações propostas pelo SIAT, o cálculo demonstrativo dos indicadores foi realizado considerando a interseção classificada como a mais crítica, a de número 1, tendo peso o número de vítimas fatais, o número de vítimas feridas e o volume

diário médio anual de veículos que secciona as avenidas. Abaixo o cálculo para os indicadores analisados, conforme equações 19, 20 e 21.

- MPA

$$(2,7182818^{-11,19}) \times (45400^{0,98}) \times (2,7182818^{(0,095 \times 8)}) = 1,0820$$

Equação 19: MPA calculado

- SIGMA

$$\sigma = ((11) \times (1,0820) \times (1,0820))^{0,5} = 3,5886$$

Equação 20: Grau de desvio médio calculado

- NSS

- $0 < 11 < - 4,3009$; não se enquadra no NSS I, sendo uma afirmação falsa
- $- 4,3009 < 11 < 1,0820$; não se enquadra no NSS II, sendo uma afirmação falsa
- $1,0820 < 11 < 6,4649$; não se enquadra no NSS III, sendo uma afirmação falsa
- $11 > 6,4649$; se enquadra no NSS IV, sendo uma afirmação verdadeira

O NSS da interseção analisada é IV, pois atende aos parâmetros da AASHTO (2010) para essa classe. A interseção analisada apresenta um alto potencial na redução de acidentes, isso ocorre porque o grau de desvio médio é baixo em relação ao N observado.

- EMPA

$$EMPA = ((N \text{ observado}) - MPA)$$

$$EMPA = ((11) - 1,0820) = 9,9180$$

Equação 21: EMPA calculado

- UPS

$$(3+(5*4)) + (1*13) = 36$$

Equação 22: UPS calculado

Os valores da UPS para as demais interseções foi calculado utilizando a ferramenta Excel, aplicando-se a fórmula da equação 22 e utilizando os fatores coletados de cada uma das interseções, conforme mostrado na figura 15.

Figura 15: Cálculo de UPS para todas as interseções

ID	INTERSEÇÕES	TOT.ACID.	MORTOS	FERIDOS	ILESOS	ATROPELAMENTO C/ VÍTIMA	UPS
1	AV ALM HENRIQUE SABOIA X AV ENG ALBERTO SA X RUA TAVARES COUTINHO	9	1	5	3	0	36
2	AV JOAO PESSOA X RUA PRO COSTA MENDES	9	2	4	3	0	45
3	RUA TEN BENEVOLO X AV RUI BARBOSA	8	2	3	3	0	41
4	AV FRANCISCO SA X AV DR THEBERGE	16	1	8	7	1	54
5	RUA DES PRAXEDES X AV JOAO PESSOA	8	1	5	2	0	35
6	AV DOS EXPEDICIONARIOS X RUA BERNARDO MANUEL X AV PRS COSTA E SILVA	16	1	7	8	1	51
7	AV DES MOREIRA X AV ABOLICAO	20	1	3	16	0	41
8	AV MON TABOSA X RUA CARLOS VASCONCELOS	8	1	3	4	0	29
9	AV BEZERRA DE MENEZES X RUA ERETIDES MARTINS X RUA DOM LINO	5	1	3	1	1	28
10	AV GODOFREDO MACIEL X RUA NEREU RAMOS	18	0	10	8	0	48

Fonte: Autor, 2022

4.9 Tabela resumo com os indicadores

O cálculo dos indicadores para as demais interseções se deu através da ferramenta Excel que recebeu as fórmulas do SIAT e padronizadas pela literatura. Abaixo os valores encontrados de forma análoga para as nove interseções também classificadas como críticas (Figura 16).

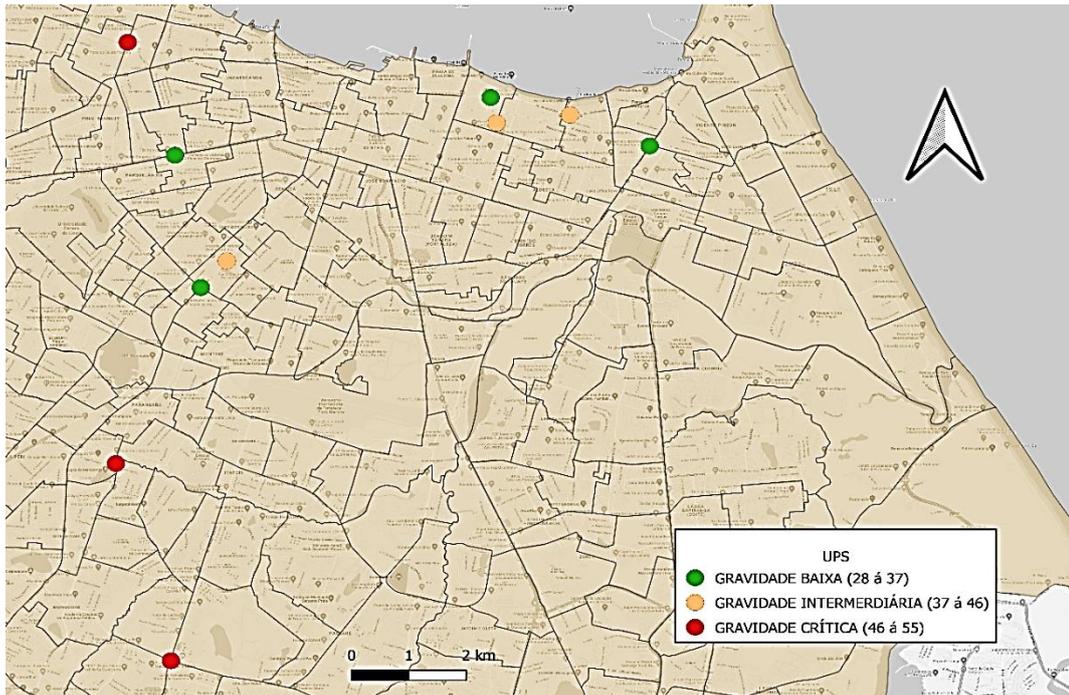
Figura 16: Tabela resumo dos indicadores

Nº	INTERSEÇÕES	Modelo de previsão de acidentes - semaforizada (Com vítimas)	UPS	EMPA (FER + Ileso)	σ (com vítimas)	NSS (COM VÍTIMAS)
1	AV ALM HENRIQUE SABOIA X AV ENG ALBERTO SA X RUA TAVARES COUTINHO	1,0820	36	9,9180	3,5886	IV
2	AV JOAO PESSOA X RUA PRO COSTA MENDES	1,0683	45	8,9317	3,3782	IV
3	RUA TEN BENEVOLO X AV RUI BARBOSA	0,5268	41	6,4732	1,3939	IV
4	AV FRANCISCO SA X AV DR THEBERGE	0,8439	54	12,1561	3,0426	IV
5	RUA DES PRAXEDES X AV JOAO PESSOA	0,7137	35	12,2863	2,5732	IV
6	AV DOS EXPEDICIONARIOS X RUA BERNARDO MANUEL X AV PRS COSTA E SILVA	1,2218	51	7,7782	3,6655	IV
7	AV DES MOREIRA X AV ABOLICAO	1,7167	41	5,2833	4,5420	III
8	AV MON TABOSA X RUA CARLOS VASCONCELOS	0,8280	29	6,1720	2,1907	IV
9	AV BEZERRA DE MENEZES X RUA ERETIDES MARTINS X RUA DOM LINO	0,6049	28	4,3951	1,3526	IV
10	AV GODOFREDO MACIEL X RUA NEREU RAMOS	1,7825	48	14,2175	7,1298	IV

Fonte: Autor, 2022

Diante dos resultados apresentados é possível verificar na interseção analisada que o excesso previsto na frequência média de acidentes representa uma correlação entre o modelo previsto para ocorrência de acidentes de acordo com as circunstâncias do ambiente e o N observado (fatal somado com feridos), considerando que o EMPA foi de 9,9180 e o MPA foi de 1,0820 para a interseção classificada como a mais crítica. Isso representa um aumento de mais de 900% quando analisada a quantidade real de vítimas em acidentes. Acredita-se que os acidentes ocorridos nessas interseções apresentam uma atipicidade que pode ser decorrida do número de veículos passante pela interseção nesse período. A Unidade Padrão de Severidade pode ser vista no mapa da figura 17, classificando as interseções por intervalos de gravidade.

Figura 17: Mapa resumo dos indicadores (UPS)

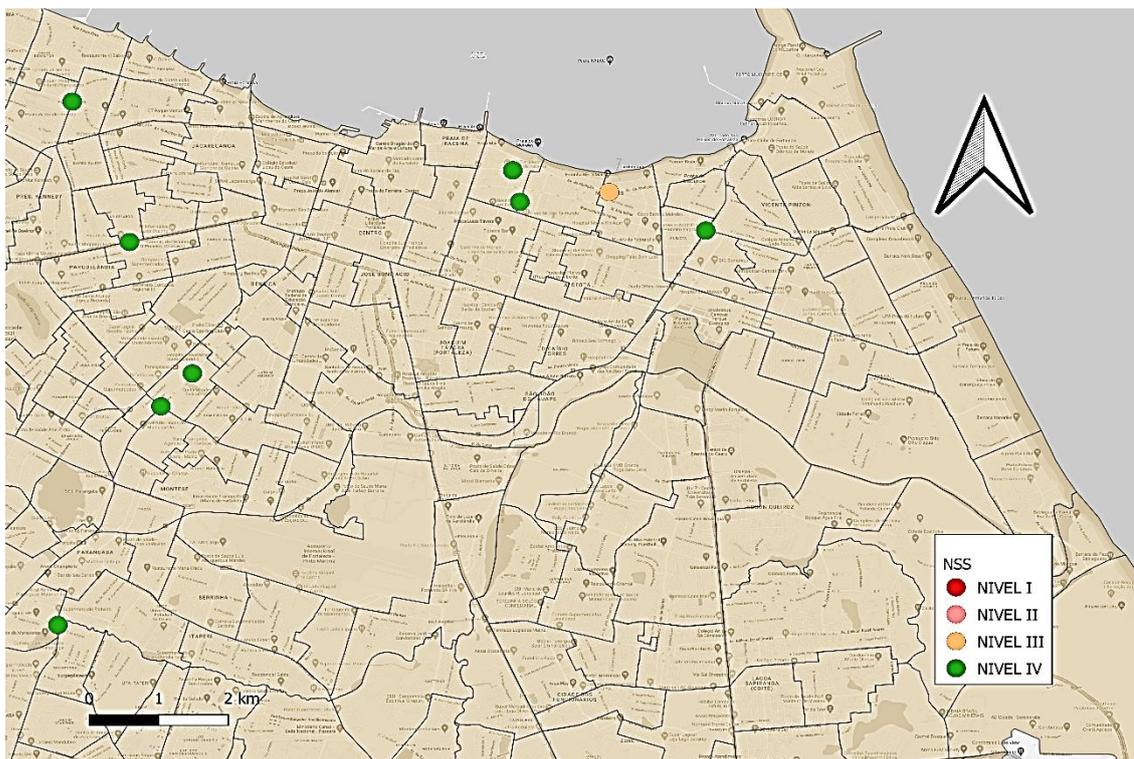


Fonte: Autor, 2022

No mapa apresentado na figura 17 foi utilizado o método de amplitude, considerando que todas as interseções apresentaram unidades padrão de severidade entre 28 e 55, incluindo esses. A classificação foi dividida em cores que informam a gravidade das interseções, considerando nos sinistros ocorridos e os indicadores apresentados. É possível verificar que as interseções localizadas no lado Oeste do município apresentam maior severidade, isso significa que dos sinistros ocorridos nesses locais, houve uma possibilidade maior das vítimas sofrerem grau elevado de ferimento ou fatalidade.

Além desse indicador, os dados de NSS foram inseridos sobre o mapa de Fortaleza, afim de apontar a classificação das interseções pelos seus níveis de segurança.

Figura 18: Mapa resumo dos indicadores (NSS)



Fonte: Autor, 2022

O mapa apresentado na figura 18 foi produzido de forma análoga ao mapa que apresenta os valores da UPS, dessa vez utilizando a classificação referenciada pela ASSHTO. A proporção entre o número de vítimas fatais e feridas e o modelo de previsão de acidentes aparenta ter uma tendência em que nas dez interseções classificadas, em todas há probabilidade alta de redução de acidentes, por sua vez, redução de criticidade das vítimas envolvidas. O número de vítimas fatal somado ao de feridas para a interseção 7 (Av. Des. Moreira x Av. Abolição) e foi importante para que essa fosse a única interseção entre as 10 que apresenta um nível de serviço de segurança moderado, isso porque o grau de desvio médio e o MPA são elevados se comparados aos demais, enquanto o número de vítimas que não ficaram ilesas tende a ser baixo.

O indicador que apresentou maior intervenção no nível de serviço de segurança foi o MPA, visto que mesmo em interseções com número elevado de acidentes, o MPA foi essencial para definir se há possibilidade de redução de sinistros naqueles locais, através do cálculo do NSS.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o estudo da segurança viária, a fim de reduzir e/ou dirimir os acidentes que envolvem o fluxo veicular e de passageiros em interseções, é de grande relevância para o planejamento urbano e a garantia da utilização regular dos usuários. Isso é visto no sistema viário de Fortaleza diante dos números elevados de sinistros e na classificação do grau de severidade das vítimas. Sendo assim, esse trabalho foi desenvolvido a fim de analisar os principais pontos críticos nessas interseções e os indicadores apresentados para otimizar o grau de severidade desses acidentes ou extingui-los.

O método proposto foi baseado na classificação do Nível de Serviço de Segurança e da Unidade Padrão de Severidade das interseções. Para isso foram utilizados como parâmetros: o volume diário médio anual de veículos que passam pelas interseções, o número de acidentes e se os acidentes apresentam vítimas feridas e/ou fatal. O método é baseado, certamente, em observação e através de formulações analíticas que consideram várias variantes, visto que o sistema não apresenta um fluxo linear de usuários, sejam pedestres ou passageiros.

Diante dos resultados encontrados, foi possível verificar que apesar de haver acidentes com número elevado de fatais em determinadas interseções, ainda assim essas apresentam alto potencial na redução de acidentes, devido ao seu modelo de previsão de acidentes.

As dificuldades encontradas para realizar esse trabalho se concentraram em dois campos de visão. O primeiro foi a familiarização com os indicadores necessários para completar a análise, isso porque, acredita-se que há deficiência de investimentos e desenvolvimento por parte do poder público e ministério da educação (MEC), na área de estudos relacionada a ciência de dados de transportes. O segundo campo de visão foi a utilização da ferramenta Qgis. Conhecer o método de entrada de dados, analisar a interface da ferramenta e otimizar o serviço manual a fim de gerar mapas autoexplicativos colaboraram para a dificuldade de alcançar os objetivos desse trabalho. Por fim, espera-se que haja investimentos na área de segurança viária,

abrindo oportunidades para discentes atraídos pelo conteúdo e que o MEC traga para as grades disciplinas relacionadas ao sistema de transporte segurança viária. Sendo assim o objetivo de analisar e identificar os pontos críticos na cidade de Fortaleza – CE foi alcançado, visto os resultados apresentados.

6. REFERÊNCIAS

AASHTO. Highway Safety Manual, American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2010.

AMC (2003) Estatísticas de Acidentes de Trânsito 2001-2002. Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania, Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza, CE.

ASTEF (2001) Manual do Usuário do Sistema Computacional do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito.

COLL, B.; MOUTARI, S.; MARSHALL, A. H. Hotspots identification and ranking for road safety improvement: An alternative approach, Accident Analysis & Prevention, 2013.

COUTO, A.; FERREIRA, S. Método Probabilístico para Identificação de Zonas de Acumulação de Acidentes. Anais do XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Joinville, v. 1., p. 763-774, 2012.

CUNTO, F.J.C.; NETO M.M.C., BARREIRA D.S. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. Transportes, v. 20, n. 2, p. 57-64, 2012.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transportes e Logística. 73 p., 2010.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro, 384 p. ,2006.

ELVIK, R. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Locations of Hazardous Roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, p. 72-75, 2008.

GOLD, A.P. (1998) Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Washington D.C.

HAUER, E., D. W. HARWOOD, F. M. Council, and M. S. Griffith. Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. Transportation Research Record, Washington, D.C., n. 1784, p. 126–131, 2002.

MIRANDA-MORENO, L. F. Statistical models and methods for identifying hazardous locations for safety improvements. PhD Thesis, University of Waterloo, Canadá, 2006.

MESQUITA, K. G. A. Modelagem macroscópica na avaliação dos impactos da implantação de um binário em vias arteriais. Departamento de Engenharia de Transportes; Universidade Federal do Ceará (UFC), 2019.

MT. Ministério dos Transportes, Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito. Programa PARE, 2002.

MONTELLA, A. A comparative analysis of hotspot identification methods. Accident Analysis and Prevention, n. 42, p. 571-581, 2010.

Prefeitura de Fortaleza (2020). Relatório Anual de Segurança Viária. Disponível em: <<https://www.unifor.br/web/osv/estatísticas>>.

Santos, Lemos e Corrêa, Paula Manoela, Diogo e Fernando. Após 4 anos adotando Sistemas Seguros, Buenos Aires reduz em 33% as mortes no trânsito. WRI BRASIL, cidade de publicação, 30 de junho de 2020. Disponível em:

<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/06/apos-4-anos-adotando-sistemas-seguros-buenos-aires-reduz-em-33-mortes-no-transito?gclid=Cj0KCQiA95aRBhCsARIsAC2xvfxCndlx5sWDcYydFJSgHhjeRfLLZ6fEdv94NYurDSB5Qy7e9IVuzDoaAtSWEALw_wcB>. Acesso em: 22 de Abril de 2022.
VELLOSO, Mônica. Introdução à Engenharia de Tráfego. Florianópolis - PR. mar. 2022. Power Point. 23 slides. color.

Viana, Theyse. Fortaleza segue tendência mundial ao reduzir velocidade nas vias a 50km/h; Diário do Nordeste, Fortaleza - CE, 29 de julho de 2021. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/fortaleza-segue-tendencia-mundial-ao-reduzir-velocidade-nas-vias-a-50kmh>>. Acesso em: 15 de março de 2022.

Xavier, V. J. M. Análise Comparativa das Medidas de Desempenho para Identificação de Pontos Críticos: Aplicação em Interseções SemafORIZADAS Universidade Federal do Ceará (UFC), 2016.