

## IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS DE SINISTROS UTILIZANDO A TAXA DE CRESCIMENTO COMPOSTO: UMA ALTERNATIVA AO USO DE VARIAÇÃO ANUAL

**Fagner Sutel de Moura**  
**Osman Miguel Bernardi**  
**Henrique Antunes Dilelio**  
**Marluce Albring Coutinho**  
**Julia Lopes de Oliveira Freitas**  
Empresa Pública de Trânsito e Circulação - EPTC  
**Christine Tessele Nodari**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

### RESUMO

O presente artigo tem por objetivo apresentar um estudo sobre a identificação de cruzamentos com aumento da severidade de sinistros no município de Porto Alegre no período entre 2015 e 2020. A análise gráfica da evolução temporal, variação acumulada e a taxa de crescimento composto (CGR) foram as três abordagens utilizadas para identificação de cruzamentos críticos a partir de janelas temporais. A partir dos dados dos registros de sinistros de trânsito no município de Porto Alegre, foi possível analisar os pontos positivos e negativos de cada uma das três abordagens. Com base nessa análise discute-se a relação entre frequência de sinistros, composição da relação frequência de sinistros e unidade de severidade correspondente e características dos cruzamentos. Como resultado do estudo, sugere-se a o uso do CGR e avaliação de ações de acordo com as peculiaridades dos cruzamentos analisados, dada a emergência de pontos críticos em cruzamentos de segundo nível e decaimento das ocorrências em cruzamentos de primeiro nível.

### 1. INTRODUÇÃO

Com base na análise dos dados de sinistros em cruzamentos do município de Porto Alegre no período de 2015 a 2020 (Porto Alegre, 2021), percebe-se que os sinistros do tipo abalroamento correspondem a mais de 48% do total de sinistros no período. Do total de sinistros, aproximadamente 15,3% resultam em lesões corporais e 0,15% em vítimas fatais. No município de Porto Alegre, em torno de 35% dos abalroamentos ocorrem em cruzamentos.

O presente estudo inicialmente foi conduzido buscando identificar cruzamentos semaforizados candidatos ao uso de equipamento Registrador Fotográfico de Infrações Semafóricas (REFIS), popularmente conhecidos como “caetanos” (CET, 2019). Além do uso desses equipamentos para coibir o desrespeito a esta sinalização, estes equipamentos permitem ainda, o monitoramento de outras infrações tais como excesso de velocidade e desrespeito a faixa de travessia de pedestres. A partir desse contexto, iniciou-se o estudo em busca de uma metodologia capaz de subsidiar a tomada de decisão acerca da seleção de pontos críticos a serem monitorados.

Embora o presente estudo possua um contexto de aplicação específico (identificação de locais candidatos a uso de REFIS), verificou-se que a metodologia recomendada possui fácil replicabilidade, permitindo que seja estendida a qualquer análise de pontos críticos em se queira avaliar a evolução temporal de sinistros em diferentes contextos.

Dada a capacidade de escalabilidade da análise, o presente estudo foi conduzido de modo a ser aplicado em todos os cruzamentos com registros de sinistros no município de Porto Alegre no período considerado.

Como o objetivo visa a identificação de cruzamentos com aumento da severidade de sinistros no município de Porto Alegre no período entre 2015 e 2020; a seguir são apresentadas as etapas desenvolvidas que consistem na análise exploratória dos sinistros, interpretação gráfica da sinistralidade em Porto Alegre, análise de variação acumulada da sinistralidade, avaliação da medida *Compound Growth Rate*, avaliação dos modelos aplicados e discussão dos pontos fortes e fracos de cada abordagem.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do estudo, foi feita análise de todos os cruzamentos de Porto Alegre com registros de sinistros entre 2015 e 2020, focando na identificação da variação de sinistralidade em cruzamentos do município. Buscou-se identificar quais cruzamentos apresentam taxas de sinistralidade suficientemente elevadas e com tendência de crescimento a ponto de requerer novas abordagens para conter o número de ocorrências de sinistros nesses locais. No período considerado, ocorreram 13.758 abalroamentos em cruzamentos da cidade.

Os dados consistem em 13.758 registros de sinistros em 3.052 cruzamentos, sendo 2.118 destes sinistros com lesões corporais e 38 sinistros fatais. Os sinistros registrados foram identificados e classificados de acordo com sua Unidade Padrão de Severidade (UPS) onde sinistros sem vítimas correspondem a  $UPS = 1$ , com feridos  $UPS = 5$  e com vítimas fatais  $UPS = 13$  (BRASIL, 2006). Uma vez atribuídos os padrões de severidade aos sinistros registrados, foi realizado o cálculo de Fator Crítico Anual e Fator Crítico Total para cada cruzamento considerado. No presente estudo considera-se Fator Crítico Anual o cálculo da UPS anual e Fator Crítico Total a soma de UPS de todos os anos considerados no estudo.

### 2.1. Fator Crítico

O índice de fator crítico é obtido pelo somatório do produto das UPS pela frequência de sinistros registrados:

$$Fator\ Crítico_{ij} = \sum_1^n UPS_j * Frequência_i \quad (1)$$

Durante a análise exploratória do comportamento do Fator Crítico foram avaliados os 50 cruzamentos com maior frequência de registros de sinistros. Dada sua relevância enquanto locais significativos em interseções de arteriais de primeiro e segundo nível, os mesmos foram comparados com os dados dos 50 cruzamentos com maior Fator Crítico Total.

Os dados dos 50 cruzamentos com maior frequência de sinistros totalizam 2.555 sinistros, destes 344 com feridos e 1 fatal. Já os dados dos 50 cruzamentos com maior Fator Crítico Total totalizam 2.462 sinistros, destes 419 com feridos e 5 fatais.

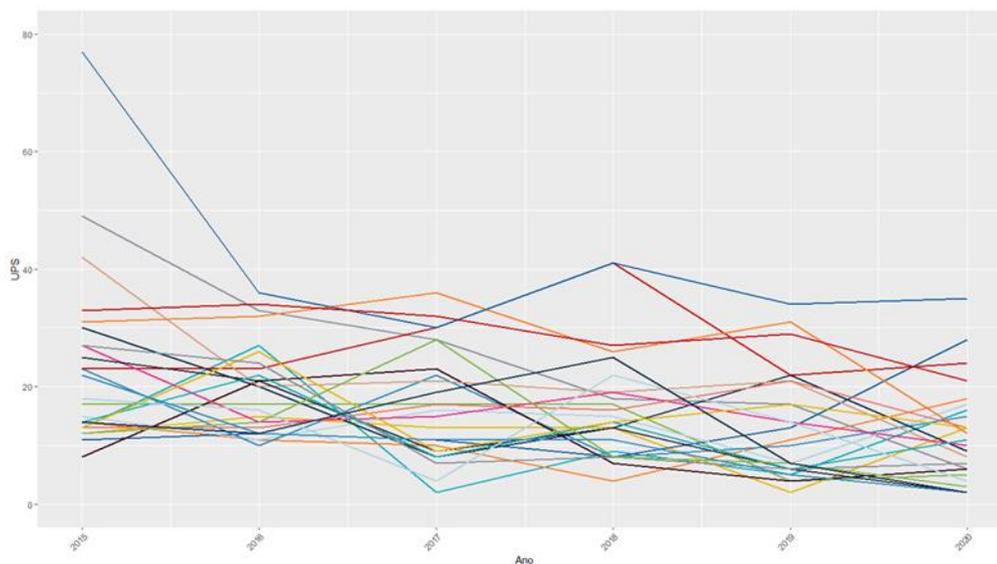
Estes dados demonstram que embora os locais possuam frequências próximas, os maiores níveis de severidade não necessariamente estão associados a cruzamentos com maior frequência de ocorrências, demonstrando que o uso de frequências de forma isolada não necessariamente são bons indicadores de locais críticos.

O (Gráfico 1) mostra o número de sinistros distribuídos pelos logradouros associados aos 50 cruzamentos apontados com maior Fator Crítico Total. Percebe-se a predominância de vias como: Av. Ipiranga, Av. Sertório, R. Dezoito de Novembro, Av. Ceará, R. Dona Margarida,

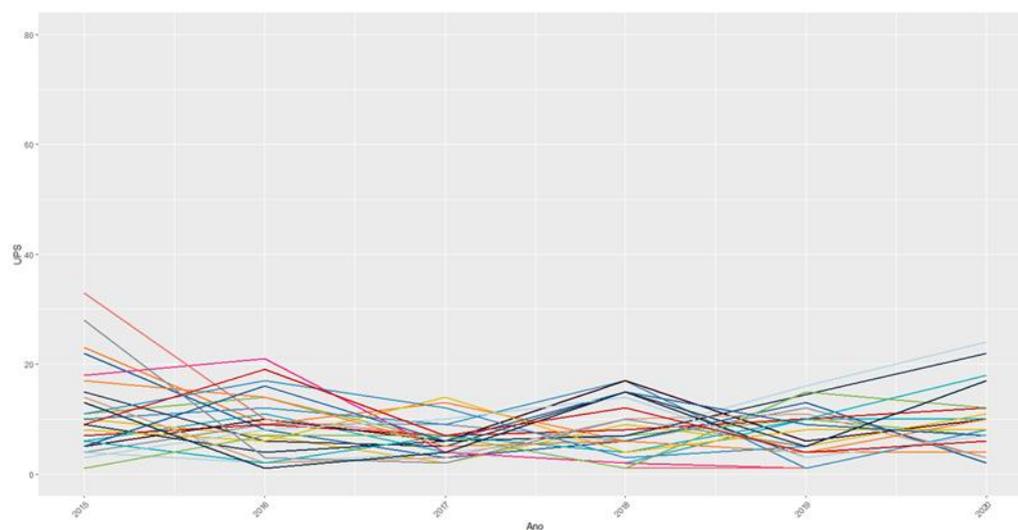


de ocorrências ao longo do período. Este comportamento decorre do fato que locais com poucos sinistros, ainda que apresentem taxas crescentes, não possuem uma magnitude suficiente para ser percebida de maneira gráfica.

Os dados apresentados na análise gráfica (Gráficos 2 e 3), demonstram que locais com Fator Crítico Total elevado se destacam, embora não seja possível determinar de maneira precisa a tendência de aumento ou redução de ocorrências ao longo do período nesses locais.



**Gráfico 2:** Cruzamentos de maior Fator Crítico Total (Locais 1 a 25)



**Gráfico 3:** Cruzamentos de maior Fator Crítico Total (Locais 26 a 50)

### 3.2. Variação Acumulada

Como alternativa ao modelo gráfico, propôs-se a utilização da taxa de variação anual acumulada (Clegg *et al.*, 2009) para identificação de locais com maior variação positiva do Fator Crítico no período considerado. O cálculo da variação acumulada foi obtido pela seguinte fórmula:

$$\text{Variação Acumulada} = \left[ \left(1 + \frac{i_1}{100}\right) * \left(1 + \frac{i_2}{100}\right) * \dots * \left(1 + \frac{i_n}{100}\right) \right] * 100 \quad (2)$$

Como a taxa de variação anual não está definida para anos sem registro de sinistros, resulta que quando há zero ocorrências para um ano em um dado local, a taxa de variação calculada, nesses casos, assume comportamento assintótico, impedindo a mensuração de sua variação.

### 3.3. Compound Growth Rate - CGR

Como o cálculo da variação se demonstrou inviabilizado para locais com ocorrência de zero sinistros em algum dos anos considerados e o método gráfico por sua vez se mostra limitado, recorreu-se a uma terceira abordagem. Para superar as limitações apontadas recorreu-se à medida Compound Growth Rate (CGR). Esta metodologia é uma adaptação da métrica *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) que mede a porcentagem constante de crescimento ao longo do período decomposto em anos (CFI, 2020; Genuchten e Hatton, 2012). Como o cálculo utilizado foi simplificado, considerando dois períodos trienais, optou-se por renomear o método subtraindo o elemento anual da composição de cálculo.

Para fins de cálculo observa-se o resultado inicial e final de um período, obtém-se a razão entre tais valores e calcula-se a potência dada pelo inverso do número de intervalos que compõem o período de análise. Via de regra a CAGR é calculada dividindo o período de variação em anos; na análise do presente estudo o período de seis anos foi dividido em dois períodos de três anos sendo o número de sinistros do primeiro triênio considerado como frequência inicial de sinistros e o número de sinistros do segundo triênio como frequência final do período, conformando um  $n=2$ .

Essa abordagem, ainda que simplifique o período, ao agregar anos em triênios, e suavize a taxa de variação, permite ignorar a variabilidade implícita nesse tipo de eventos naqueles casos em que se registram zero ocorrências em um dado ano, o que impossibilitaria cálculo de variação anual para tais locais.

A fórmula final do CGR é apresentada abaixo:

$$CGR = \left(\frac{FF}{FI}\right)^{1/n} - 1 \quad (3)$$

FF = Frequência final de Sinistros

FI = Frequência inicial de Sinistros

n = Número de Períodos.

## 4. SELEÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE

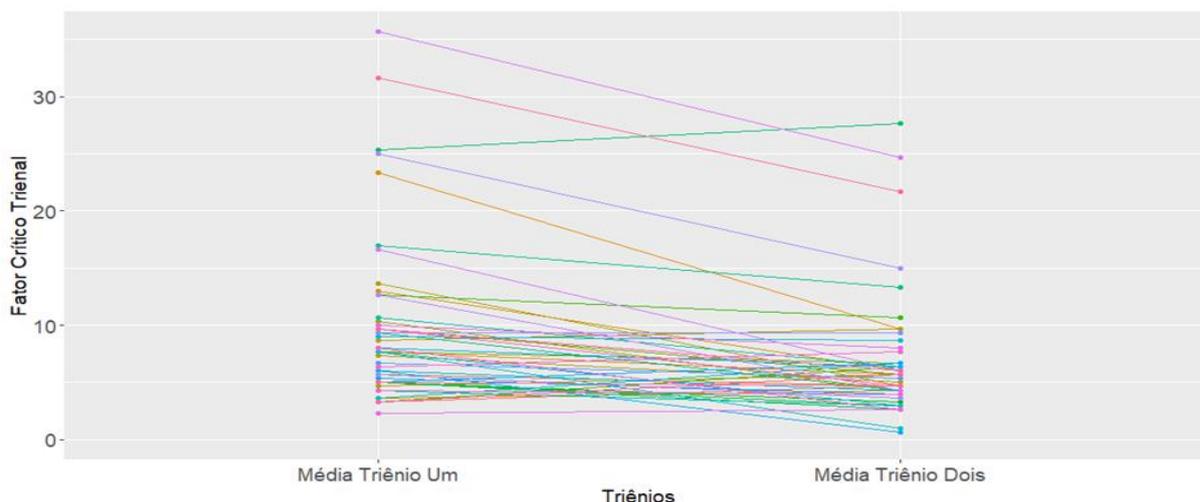
Uma vez que a análise gráfica se mostrou facilitadora, mas pouco elucidativa e a taxa de variação apresenta problemas para locais que possam contabilizar zero sinistros em um dos anos considerados, o modelo de CGR demonstrou-se mais promissor e foi utilizado na análise proposta. Buscando compreender como o modelo CGR pode contribuir para identificação de pontos críticos, a aplicação do CGR consistiu em aplicar o método na totalidade dos cruzamentos e confrontar mais significativos com o CGR dos cruzamentos com maior Fator Crítico Total e assim verificar se há correspondência entre aumento do Fator Crítico e locais com elevado Fator Crítico Total.

#### 4.1. Aplicação do CGR em cruzamentos de maior Fator Crítico

A aplicação do método CGR demonstrou que o Fator Crítico Total de forma isolada não se constitui como um bom indicador para análise de locais críticos, justamente por ignorar a dinâmica temporal deles.

Os dados (Gráfico 4) demonstram que onze (22%) dos cinquenta cruzamentos com maior Fator Crítico apresentam aumento do CGR, o que caracteriza aumento do número de ocorrências nesses locais, entre elas ocorrências severas. Já os 39 restantes (78%) apresentam redução do CGR, indicando redução do número de ocorrências, entre elas ocorrências severas.

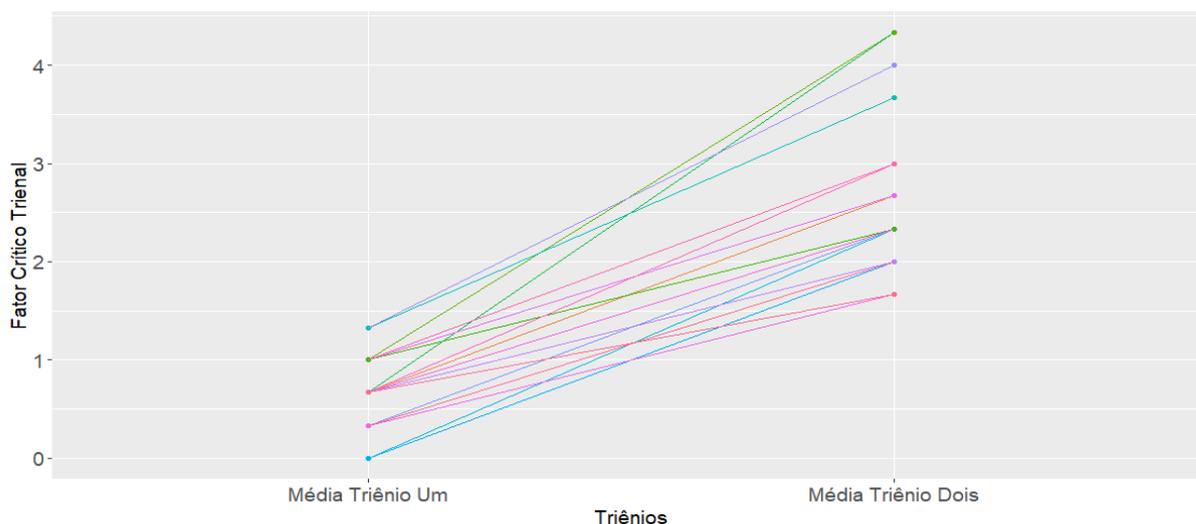
Estes dados demonstram que embora tais locais se constituam com pontos de elevado Fator Crítico Total, boa parte desses locais já apresenta tendência de redução de ocorrências. Nesses casos, qualquer intervenção proposta terá seus resultados confundidos com a tendência de redução pré-existente, gerando maiores dificuldades na avaliação dos efeitos de medidas mitigadoras, quando não acompanhadas de estudos que capturem a variação atribuída às intervenções prévias.



**Gráfico 4:** 50 CGR dos Cruzamentos com maior Fator Crítico Total

#### 4.2. Aplicação do CGR sobre a totalidade dos cruzamentos

A análise global do CGR demonstrou que locais com elevado CGR (Gráfico 5) são distintos daqueles cruzamentos com maior Fator Crítico Total. Estes dados apontam que enquanto cruzamentos com maior Fator Crítico Total apresentam tendência de redução de ocorrência de sinistros, cruzamentos de segundo nível vêm apresentando elevação do número de ocorrências.



**Gráfico 5:** 50 Cruzamentos com maior CGR

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma proposta para identificação de cruzamentos com aumento da severidade da sinistralidade no município de Porto Alegre no período entre 2015 e 2020.

Ao apontar diferentes distribuições em diferentes cruzamentos, este estudo buscou ilustrar a variação da sinistralidade em diferentes cruzamentos e demonstrar a evolução temporal das ocorrências, com o intuito de fornecer um primeiro diagnóstico sobre o comportamento da sinistralidade nesses locais e, a partir disso, servir de suporte para nortear ações mitigadoras.

Os dados históricos dos cruzamentos verificados apresentam diferentes dinâmicas nos diferentes cruzamentos, com emergência e decaimento no número de sinistros, demonstrando contextos específicos que requerem ações específicas considerando as peculiaridades dos diferentes tipos de cruzamentos.

Os achados demonstram que cruzamentos entre grandes eixos se constituem como locais com alto volume de veículos entrantes e alto índice de ocorrências de sinistros, e por consequência, altos valores de Fator Crítico Total. No entanto, percebe-se que tais cruzamentos ainda que apresentem alta frequência de sinistros e elevado Fator Crítico Total, apresentam tendência de decréscimo no número de sinistros ao longo do período analisado.

Os dados também demonstram a emergência de cruzamentos críticos constituídos de vias de segundo e terceiro nível, onde, embora a ocorrência anual de sinistros seja baixa, a frequência de sinistros vem aumentando ao longo do período considerado.

Os dados verificados demonstram locais com naturezas específicas que podem ser alvo de ações distintas. Cruzamentos constituídos de vias de primeiro nível, embora venham apresentando tendência de redução das ocorrências, ainda apresentam elevado nível de ocorrências.

Os cruzamentos compostos de vias de menor hierarquia viária, ainda que apresentem baixa frequência de ocorrências, tem apresentado aumento do CGR ao longo do período considerado. Embora tais cruzamentos apresentem baixa frequência de ocorrências, cabe considerar dois fatores que são: (1) o aumento de ocorrências nessa classe de cruzamentos e (2) o fato de que este tipo de cruzamento representa a maioria das interseções do município, podendo contribuir globalmente com uma grande parcela dos sinistros registrados em cruzamentos do município,

gerando o efeito de cauda longa.

A partir de tais constatações, diferentes políticas podem ser consideradas para as diferentes classes de cruzamentos. Os cruzamentos de maior porte costumam apresentar situações consolidadas de controle de tráfego e disciplinamento viário, onde a redução de ocorrências naqueles locais com incremento do Fator Crítico Anual pode se dar por meio de dispositivos de fiscalização e monitoramento, como os REFIS. Os cruzamentos menos relevantes, de menor porte e que apresentam elevação do número de ocorrências podem fazer parte de políticas de revisão, readequação, disciplinamento, revitalização e regulamentação que permitam um melhor disciplinamento dos fluxos e promoção da segurança viária nesses locais.

Por fim resta replicar a análise para períodos distintos e intervalos distintos de tempo, para concluir se o intervalo por triênios é o modelo ideal, ou se biênios possam ser considerados, permitindo uma captura mais refinada da taxa de variação de severidade dos locais avaliados. Cabe ainda avaliar o quanto esta análise pode ser enviesada pelo fenômeno de regressão à média.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. (2006) *Metodologia pra Tratamento de Acidentes de Tráfego em Rodovias*. (DNIT, Ed). BRASIL, Brasília.
- CET. (2019) *Fiscalização Eletrônica Automática* (No. 260). São Paulo.
- CFI. (2020) Definition of Compound Annual Growth Rate (CAGR) - IT Glossary | Gartner. *Corporate Finance Institute*. Obtido 26 de julho de 2021, de <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/cagr-compound-annual-growth-rate>
- Clegg, L. X., Hankey, B. F., Tiwari, R., Feuer, E. J., e Edwards, B. K. (2009) Estimating average annual per cent change in trend analysis. *Statistics in Medicine*, 28(29), 3670–3682. doi:10.1002/SIM.3733
- Genuchten, M. van, e Hatton, L. (2012) Compound Annual Growth Rate for Software. *IEEE Software*, 29(04), 19–21. doi:10.1109/MS.2012.79
- Porto Alegre. (2021) Acidentes de Trânsito - Acidentes - Conjuntos de dados - Dados Abertos - POA. *Dados Abertos*. Obtido 14 de agosto de 2021, de <http://datapoa.com.br/dataset/acidentes-de-transito-acidentes>

---

Fagner Sutel de Moura (fsmoura@eptc.pmpa.com.br)  
Equipe de Simulação e Experimentos de Tráfego, EPTC/SMMU  
Rua João Neves da Fontoura, 07 – Porto Alegres, RS, Brasil