



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANA CARLA DA SILVA MONTEIRO

**COMPORTAMENTO DA ACIDENTALIDADE EM RODOVIAS FEDERAIS
BRASILEIRAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19**

Recife
2025

ANA CARLA DA SILVA MONTEIRO

**COMPORTAMENTO DA ACIDENTALIDADE EM RODOVIAS FEDERAIS
BRASILEIRAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas

Orientador: Profº. Dr. Maurício Oliveira de Andrade

Coorientador: Profº. Dr. Enilson Medeiros dos Santos

Recife

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Monteiro, Ana Carla da Silva.

Comportamento da accidentalidade em rodovias federais
brasileiras durante a pandemia de COVID-19 / Ana Carla da Silva
Monteiro. - Recife, 2025.

121f.: il.

Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro
de Tecnologia e Geociências - CTG, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil , 2025.

Orientação: Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade.

Coorientação: Prof. Dr. Enilson Medeiros dos Santos.

1. Rodovias federais; 2. Pandemia; 3. Sinistros rodoviários;
4. Séries temporais. I. Andrade, Maurício Oliveira de. II.
Santos, Enilson Medeiros dos. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ANA CARLA DA SILVA MONTEIRO

**COMPORTAMENTO DA ACIDENTALIDADE EM RODOVIAS FEDERAIS
BRASILEIRAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil, Área de Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Aprovada em 29/08/2025

Orientador: Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade, UFPE
Coorientador: Prof. Dr. Enilson Medeiros dos Santos, UFRN

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof. Dr. Diego Furtado Silva (examinador externo)
Universidade de São Paulo

participação por videoconferência
Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva (examinador externo)
Universidade Federal de Fortaleza

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Isabel Cristina de Oliveira Magalhães Amorim (examinadora externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo (examinadora externa)
Universidade de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esta Tese à minha mãe, Sebastiana da silva Monteiro e ao meu irmão Anderson da Silva Monteiro, que sempre foram meu apoio durante minha trajetória de vida e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é sempre misericordioso em todo o tempo, principalmente quando só me resta a fé. À Nossa Senhora de Nazaré que acolhe as minhas orações nos dias conturbados e nos de agradecimento também, me acalmando, assim como faz com o menino Jesus que ela carrega nos braços. À São Jorge Guerreiro, meu santo protetor.

À minha família, especialmente a minha mãe Sebastiana, por acreditar e me incentivar a ir atrás dos meus sonhos, independente de onde eles estejam. A meu pai Luiz Carlos, pelo apoio financeiro nos momentos necessários. Ao meu irmão Anderson, por todo esforço possível para que a vida fosse mais leve nos dias difíceis e eu conseguisse avançar. Ao meu irmão Jean, por ser o melhor substituto que eu poderia ter em Abaetetuba. Graças a vocês consegui chegar ao final de mais uma etapa importante.

Ao meu primeiro orientador, Professor Enilson Santos e meu segundo orientador, Professor Maurício Andrade, deixo registrada a minha imensa gratidão, pela orientação, paciência, escuta compassiva, contribuições neste longo caminho e muito além disso, por não me deixarem desistir frente as adversidades que ocorreram. Essa defesa de Tese só está sendo possível, porque vocês não soltaram a minha mão. Espero ser para os meus alunos pelo menos 1% do que vocês foram para mim durante esse doutorado.

Aos professores que fizeram parte da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões valiosas.

Ao corpo docente do PPGEC, pelas experiências e conhecimento compartilhados, amizade construída ao longo do tempo e por tornarem a caminhada menos pesada, mostrando que a Pós-graduação pode ser mais humanizada e acolhedora, em especial aos que tive o prazer de conviver mais de perto, Leonardo Meira, Anísio, Maurício, Nona. Estendo os agradecimentos a secretaria do Programa, onde as servidoras estão sempre dispostas a ajudar e fazem isso com tamanha eficiência.

Aos meus amigos, de perto e de longe que ao longo deste período, incentivaram e torceram para que tudo desse certo, acreditaram no meu potencial e estiveram presentes da forma que foi possível, em especial, Pâmela Valente, Yasmim e Alef Berg, Alice Martins, Carine Aragão, Ana Clara, Fran e Vânia.

Aos colegas e amigos que fiz no LAB-T, pelas trocas de experiência, risadas, cafés e afins, tornando a caminhada mais leve.

Ao meu amigo Alan Borges, que foi trazido do Pará pelo PPGEC e a vida me presenteou com sua amizade, obrigada pelas conversas leves e profundas, por todas as alegrias vividas até aqui e as que ainda virão, obrigada pela parceria acadêmica e de vida.

À minha turma de doutorado, formada exclusivamente por mulheres, Karla Leite, Sheyla e em especial, Katarini Araújo (*in memoriam*).

Agradeço a CAPES pelo incentivo financeiro de suma importância para minha permanência durante o doutorado.

Lembro também de todos os que de alguma forma contribuíram nesta caminhada, seja com a escrita, conhecimentos compartilhados e até com a escuta paciente, meu muito obrigada.

E por fim, deixo a pequena parte de uma homilia feita pelo Padre Fábio de Melo. “Caminho não havendo, inventa-se, a vida não retém os que querem chegar”.

RESUMO

O Brasil é o terceiro país no mundo com mais óbitos causados por sinistros de trânsito, atrás somente da Índia e China, tornando-se um problema de saúde pública. Os impactos vão além do sofrimento das famílias pela perda das vítimas, como também nos custos estimados pelos sinistros em que somente nas rodovias federais, chegou a R\$ 14,61 bilhões no ano de 2023. Os sinistros são mais frequentes nos finais de semana, em sua maioria com envolvimento de homens acima de 45 anos e por diversas causas que vêm sendo estudadas mundo a fora e incluem ingestão de álcool, excesso de velocidade, precárias condições das rodovias, falta de uso de equipamentos de segurança, descumprimento das leis de trânsito e deficiências na fiscalização. Com a chegada brusca da pandemia de Covid-19 e as restrições impostas devido à propagação do vírus, esperava-se uma diminuição no fluxo de veículos e com isso a minimização na quantidade e na gravidade dos sinistros. No entanto, apesar da redução gradativa de sinistros que vinha ocorrendo há alguns anos, no período de restrições ocorreu uma estabilidade na quantidade de sinistros, porém, o número de óbitos cresceu, provavelmente devido à gravidade das colisões. Sendo assim, o objetivo geral desta tese é analisar a relação entre os sinistros ocorridos em rodovias federais brasileiras, antes e durante a pandemia de Covid-19, bem como os impactos na quantidade e gravidade desses eventos. A hipótese central é que os impactos decorrentes da pandemia de Covid-19 — como as restrições de mobilidade, que resultaram na redução do tráfego rodoviário com provável aumento de velocidade, e o aumento da pressão psicológica provocada pela percepção de risco frente ao crescimento do número de mortes — foram fatores determinantes para a intensificação de comportamentos perigosos na condução veicular, contribuindo, assim, para o aumento da ocorrência de sinistros graves e fatais nas rodovias federais brasileiras. Para alcançar o objetivo e testar a hipótese foram utilizados dados de sinistros da Polícia Rodoviária Federal (PRF) de 2010 a 2022, além de dados de evolução da Covid-19 e o tráfego rodoviário médio no período de maior propagação da pandemia. Os dados foram analisados por meio de séries temporais, com a utilização dos modelos SARIMA/ARIMA sazonal e ETS pois de acordo com a literatura se aplicam de forma favorável em dados de sinistros rodoviários e para a ratificação dos resultados encontrados usou-se o modelo SARIMAX que se caracteriza pelo uso de variáveis externas – neste caso o período pandêmico. Os resultados demonstraram que a hipótese estudada foi parcialmente confirmada, visto que, para algumas variáveis o período pandêmico e suas restrições causaram reduções, porém, para a maioria o comportamento de quantidade e gravidade dos sinistros seguiu patamares anteriores ou ainda mais elevados no período estudado, permitindo interpretar

que apesar das restrições impostas durante os períodos críticos, as ocorrências continuaram acontecendo em números fora do esperado. Por fim, os resultados contribuem para o início do preenchimento de uma lacuna sobre o impacto da pandemia na América do Sul e fornece subsídios para diretrizes acerca de sinistros rodoviários para eventuais surtos pandêmicos futuros.

Palavras-chave: Rodovias Federais; Pandemia; Sinistros Rodoviários; Séries Temporais; SARIMA; ETS; SARIMAX;

ABSTRACT

Brazil is the third country in the world with the highest number of deaths caused by traffic crashes, behind only India and China, becoming a public health problem. The impacts go beyond the suffering of families due to the loss of victims, extending also to the estimated costs of crashes which, on federal highways alone, reached R\$ 14.61 billion in 2023. Crashes are more frequent on weekends, mostly involving men over 45 years old and caused by various factors that have been studied worldwide, including alcohol consumption, speeding, poor road conditions, lack of use of safety equipment, noncompliance with traffic laws, and deficiencies in enforcement. With the abrupt onset of the Covid-19 pandemic and the restrictions imposed due to the spread of the virus, a reduction in vehicle flow was expected and, consequently, a decrease in the number and severity of crashes. However, despite the gradual decline in crashes observed in previous years, during the restriction period there was stability in the number of crashes, while the number of fatalities increased, likely due to the severity of collisions. Therefore, the general objective of this thesis is to analyze the relationship between crashes occurring on Brazilian federal highways before and during the Covid-19 pandemic, as well as the impacts on the frequency and severity of these events. The central hypothesis is that the impacts stemming from the Covid-19 pandemic — such as mobility restrictions, which resulted in reduced road traffic with a probable increase in speed, and increased psychological pressure caused by the perceived risk amid the rising number of deaths — were determining factors for the intensification of dangerous driving behaviors, thus contributing to a rise in severe and fatal crashes on Brazilian federal highways. To achieve the objective and test the hypothesis, crash data from the Federal Highway Police (PRF) from 2010 to 2022 were used, along with data on the evolution of Covid-19 and average road traffic during the period of greatest spread of the pandemic. The data were analyzed using time series, employing seasonal SARIMA/ARIMA and ETS models, which according to the literature are well suited for road crash data, and to confirm the findings, the SARIMAX model was also used, characterized by the inclusion of external variables — in this case, the pandemic period. The results showed that the hypothesis was partially confirmed, since for some variables the pandemic period and its restrictions led to reductions; however, for most variables, the behavior of crash frequency and severity followed similar or even higher levels during the period studied, allowing the interpretation that despite the restrictions imposed during critical phases, the occurrences continued to happen in numbers beyond what was expected. Finally, the results help begin to fill a gap regarding the

impact of the pandemic in South America and provide support for guidelines on road crashes in the event of future pandemic outbreaks.

Keywords: Federal Highways; Pandemic; Road Accidents; Time Series; SARIMA; ETS; SARIMAX.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Total de Sinistros em Rodovias Federais (2007-2024).....	20
Figura 2 - Total de Mortes em Rodovias Federais (2007-2024)	20
Figura 3 - Número estimado de fatalidades no Trânsito de 2000 a 2021	26
Figura 4 - O Processo de Previsão.....	39
Figura 5 - Fluxograma da Metodologia.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Sinistros Rodoviários por Região	29
Gráfico 2 - Mortes por Sinistro em Rodovias Federais por Região	30
Gráfico 3 - Evolução dos óbitos por Sinistros x Evolução do Volume de Tráfego	51
Gráfico 4 - Evolução dos óbitos por Covid-19 x Evolução do Volume de Tráfego	52
Gráfico 5 - Evolução dos óbitos por Covid-19 x Evolução dos Óbitos por Sinistro.....	52
Gráfico 6 - Total de Sinistros no Brasil SARIMA e ETS	54
Gráfico 7 - Total de Mortes no Brasil.....	55
Gráfico 8 - Feridos Graves Brasil.....	56
Gráfico 9 - Sinistros por Falta de Atenção Brasil.....	57
Gráfico 10 - Mortes por Falta de Atenção Brasil	59
Gráfico 11 - Sinistros por Velocidade Incompatível Brasil	60
Gráfico 12 - Mortes por Velocidade Incompatível Brasil	61
Gráfico 13 - Total de Sinistros Norte	63
Gráfico 14 - Feridos Graves Norte	64
Gráfico 15 - Total de Mortes Norte	65
Gráfico 16 - Sinistros por Falta de Atenção Norte	66
Gráfico 17 - Sinistros por Velocidade Incompatível Norte.....	67
Gráfico 18 - Sinistros Totais Nordeste	68
Gráfico 19 - Feridos Graves Nordeste	69
Gráfico 20 - Mortes Nordeste.....	70
Gráfico 21 - Sinistros por Falta de Atenção Nordeste.....	71
Gráfico 22 - Sinistros por Velocidade Incompatível Nordeste.....	72
Gráfico 23 - Sinistros Totais Sudeste	73
Gráfico 24 - Feridos Graves Sudeste	74
Gráfico 25 - Mortes Sudeste.....	75
Gráfico 26 - Sinistros por Falta de Atenção Sudeste.....	76
Gráfico 27 - Sinistros por Velocidade Incompatível Sudeste.....	77
Gráfico 28 - Sinistros Totais Centro-Oeste	78
Gráfico 29 - Feridos Graves Centro-Oeste	80
Gráfico 30 - Mortes Centro-Oeste.....	81
Gráfico 31 - Sinistros por Falta de Atenção Centro-Oeste	82
Gráfico 32 - Sinistros por Velocidade Incompatível Centro-Oeste.....	83
Gráfico 33 - Sinistros Totais Sul	84
Gráfico 34 - Feridos Graves Sul	86
Gráfico 35 - Mortes Sul	87
Gráfico 36 - Sinistros por Falta de Atenção Sul	88
Gráfico 37 - Sinistros por Velocidade Incompatível Sul.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fatores Contribuintes para a Quantidade e Gravidade de sinistros.....	36
Tabela 2 - Metodologia Utilizada nos artigos	38
Tabela 3 - Variáveis encontradas nos Dados de Sinistros da PRF	46
Tabela 4 - Métricas de Desempenho para Sinistros Totais Brasil	54
Tabela 5 - Métricas de desempenho para Mortes Brasil	55
Tabela 6 - Métricas de Desempenho para Feridos Graves Brasil.....	56
Tabela 7 - Métricas de Desempenho para Falta de Atenção Brasil.....	58
Tabela 8 - Métricas de Desempenho para Mortes por Falta de Atenção Brasil	59
Tabela 9 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Brasil	60
Tabela 10 - Métricas de Desempenho Mortos por Velocidade Incompatível Brasil.....	62
Tabela 11 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Norte	63
Tabela 12 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Norte.....	64
Tabela 13 - Métricas de Desempenho Mortes Norte	65
Tabela 14 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Norte	66
Tabela 15 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Norte.....	67
Tabela 16 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Nordeste	69
Tabela 17 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Nordeste.....	69
Tabela 18 - Métricas de Desempenho Mortes Nordeste.....	70
Tabela 19 - Métricas de Desempenho Sinistros por Falta de Atenção Nordeste	71
Tabela 20 - Métricas de desempenho Velocidade Incompatível Nordeste	72
Tabela 21 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Sudeste.....	73
Tabela 22 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Sudeste.....	74
Tabela 23 - Métricas de Desempenho Mortes Sudeste.....	76
Tabela 24 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Sudeste.....	77
Tabela 25 - Métricas de Desempenho Sinistros Velocidade Incompatível Sudeste.....	78
Tabela 26 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Centro-Oeste	79
Tabela 27 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Centro-Oeste.....	80
Tabela 28 - Métricas de Desempenho Mortes Centro-Oeste.....	81
Tabela 29 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Centro-Oeste	82
Tabela 30 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Centro-Oeste.....	83
Tabela 31- Métricas de Desempenho Sinistros Totais Sul	85
Tabela 32 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Sul.....	86
Tabela 33 - Métricas de Desempenho Mortes Sul.....	87
Tabela 34 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Sul.....	88
Tabela 35 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Sul.....	89
Tabela 36 - Comparação Percentual Sinistros Totais - SARIMA e ETS	91
Tabela 37 - Comparação Percentual Sinistros Totais e Mortes por Região - SARIMA e ETS93	
Tabela 38 - Comparação Percentual Sinistros Totais, por Falta de Atenção e Velocidade incompatível Brasil - SARIMA e ETS	96
Tabela 39 - Sinistros Totais e Mortes por Causas no Brasil.....	98
Tabela 40 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Brasil.....	99

Tabela 41 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Brasil.....	99
Tabela 42 - Dados de análise SARIMAX Mortes Totais Brasil.....	99
Tabela 43 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Brasil	100
Tabela 44 - Dados de análise SARIMAX Mortes por Falta de Atenção Brasil	100
Tabela 45- Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Brasil	100
Tabela 46 - Dados de análise SARIMAX Mortes por Velocidade Incompatível Brasil.....	101
Tabela 47- Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Norte	101
Tabela 48 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Norte	102
Tabela 49 - Dados de análise SARIMAX Mortes Norte	102
Tabela 50 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Norte.....	103
Tabela 51 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Norte.....	103
Tabela 52 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Nordeste	103
Tabela 53 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Nordeste.....	104
Tabela 54 - Dados de análise SARIMAX Mortes Nordeste.....	104
Tabela 55 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Nordeste.....	104
Tabela 56 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Nordeste	105
Tabela 57 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Sudeste	105
Tabela 58 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Sudeste.....	105
Tabela 59 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Sudeste.....	106
Tabela 60 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Sudeste ..	106
Tabela 61 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Centro-Oeste	106
Tabela 62 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Centro-Oeste.....	107
Tabela 63 - Dados de análise SARIMAX Mortes Centro-Oeste.....	107
Tabela 64 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Centro-Oeste.....	108
Tabela 65 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Centro-Oeste	108
Tabela 66 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Sul	109
Tabela 67 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Sul.....	109
Tabela 68 - Dados de análise SARIMAX Mortes Sul.....	110
Tabela 69 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Sul.....	110
Tabela 70 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Sul	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATT	Acidente de Transporte Terrestre
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CNT	Confederação Nacional de Transporte
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRTAD	Grupo Internacional de Dados e Análise de Segurança
LIC's	Países de Baixa Renda
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PRF	Polícia Rodoviária Federal
SIM	Sistemas de Informações sobre Mortalidade
SUS	Sistema Único de Saúde
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PERGUNTAS CONDUTORAS	21
1.2	OBJETIVOS E HIPÓTESE	22
1.3	LIMITAÇÕES	22
1.4	ESTRUTURA DA TESE	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1	ACIDENTALIDADE RODOVIÁRIA.....	24
2.2	A PANDEMIA DE COVID-19 E OS SINISTROS RODOVIÁRIOS.....	30
2.3	COMPARAÇÃO ENTRE ARTIGOS	35
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	39
3.1	MODELO SAZONAL AUTORREGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIAS MÓVEIS (SARIMA)	41
3.2	MODELO DE ESTADO DE ESPAÇO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL (ETS) 43	
3.3	MODELO DE MÉDIA MÓVEL INTEGRADA AUTORREGRESSIVA SAZONAL COM VARIÁVEIS EXÓGENAS (SARIMAX).....	44
3.4	COLETA DE DADOS.....	46
3.5	APLICAÇÃO MODELO SARIMA	48
3.6	APLICAÇÃO DO MODELO ETS	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	EVOLUÇÃO DOS ÓBITOS POR SINISTROS EM RELAÇÃO AO VOLUME DE TRÁFEGO	50
4.2	EVOLUÇÃO DOS ÓBITOS POR COVID-19 EM RELAÇÃO AO VOLUME DE TRÁFEGO	51
4.3	EVOLUÇÃO DE ÓBITOS POR COVID-19 EM RELAÇÃO AOS ÓBITOS POR SINISTROS.....	52
4.4	SINISTROS TOTAIS BRASIL.....	53
4.5	MORTES POR SINISTRO E FERIDOS GRAVES NO BRASIL	54
4.6	SINISTROS E MORTES PELAS PRINCIPAIS CAUSAS BRASIL.....	56
4.6.1	Falta de Atenção	56
4.6.2	Velocidade Incompatível.....	59

4.7 SINISTROS, MORTES, FERIDOS GRAVES E CAUSAS DE SINISTROS POR REGIÃO	62
4.7.1 Região Norte.....	62
4.7.2 Região Nordeste	68
4.7.3 Região Sudeste	73
4.7.4 Região Centro-Oeste.....	78
4.7.5 Região Sul.....	84
4.8 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS BRASIL E REGIÕES ..	89
4.9 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS E MORTES BRASIL E REGIÕES	92
4.10 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS E POR CAUSAS.....	94
4.11 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS E MORTES POR CAUSAS NO BRASIL	96
4.12 ANÁLISE DO MODELO SARIMAX (MODELO AUTORREGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIAS MÓVEIS COM VARIÁVEIS EXÓGENAS).....	98
4.12.1 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Norte	101
4.12.2 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Nordeste.....	103
4.12.3 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Sudeste.....	105
4.12.4 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Centro-Oeste.....	106
4.12.5 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Sul.....	108
5 CONCLUSÕES	112
REFERÊNCIAS.....	115

1 INTRODUÇÃO

Os sinistros de trânsito têm sido considerados um sério problema de saúde pública no mundo. De acordo com o *Global Status Report on Road Safety*, realizado pela Organização Mundial de Saúde (2023), os sinistros de trânsito são a principal causa de mortes no intervalo de idade entre 5 e 29 anos e a 12^a causa no mundo, com mais de 1,19 milhão de pessoas mortas e aproximadamente 50 milhões de feridos anualmente. Nessa estatística, o Brasil figura como terceiro país com mais mortes de trânsito no mundo, atrás somente da Índia e China (WHO, 2023). Outro dado importante do relatório mostra que 9 em cada 10 mortes no mundo acontecem em países de baixa e média renda, os quais, no entanto, respondem apenas por 60% da frota mundial de veículos.

No Brasil, a pesquisa da CNT (2024) traz a informação que a malha rodoviária total é de 1.720,909 km, destes, somente 12,4% são de rodovias pavimentadas e 78,5% não pavimentadas. Ainda de acordo com essa pesquisa, do total da malha rodoviária, 31% são de rodovias federais atendidas pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), se dividindo em: 11,4% de rodovias federais duplicadas, 1,5% de rodovias federais em duplicação e 87,1 % de rodovias federais de pista simples (CNT 2024; PRF, 2024). Dados coletados pela PRF são usados para estudos sobre a gravidade de sinistros, principalmente no âmbito regional e restritos a ocorrências na malha rodoviária federal, enquanto os dados nacionais são utilizados majoritariamente para pesquisas a respeito da frequência de sinistros (Franceschi *et al.* 2021).

O impacto causado pelos sinistros de trânsito acontece em vários âmbitos; um deles se dá no Sistema Único de Saúde (SUS), por meio das internações que geram custos ao governo. O Observatório Nacional de Segurança Viária (2022) usou dados do Ministério da Saúde para divulgar que no ano de 2020 foram registradas 188 mil internações por lesões causadas por sinistros de trânsito. Em 2021, houve um aumento de 24%, chegando a 234 mil internações pelo mesmo motivo. Ou seja, apesar de o período em questão estar com restrições de mobilidade devido à pandemia de Covid-19, tais restrições não foram capazes de reduzir os números da violência no trânsito.

Quando a análise é transformada em valores monetários, é possível entender melhor a gravidade da situação no Brasil. Nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, os custos estimados com sinistros nas rodovias federais brasileiras foram de R\$14,23 bilhões, R\$13,51 bilhões, R\$13,80 bilhões, R\$13,83 bilhões e R\$14,61 bilhões, respectivamente, de acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT) (CNT, 2019, 2020, 2021, 2022a).

A Confederação Nacional de Transportes – CNT (2023) indica que os sinistros de trânsito acontecem com mais intensidade de sexta a domingo; predominantemente com pessoas acima de 45 anos, em 70% das vezes do sexo masculino, que correspondem a 81% dos óbitos. A CNT ainda afirma que lideram a lista de envolvidos, os automóveis seguidos das motocicletas e sabe-se ainda que mais de 60% desses sinistros acontecerem por colisões.

Faz parte dos fatores contribuintes aos sinistros e mortes no trânsito, o excesso de velocidade, as más condições das vias, a sinalização precária, a falta ou deficiência na iluminação, a falta de uso de equipamentos de segurança, o consumo de álcool e substâncias psicoativas, a falta de educação no trânsito, o excesso de fadiga e o uso de celular (Biffe *et al.*, 2017; Jesus *et al.*, 2017; Lopes *et al.*, 2022). Além disso, o não cumprimento das leis de trânsito e a falta de fiscalização para aplicação efetiva da legislação, também representam fatores de risco para a mortalidade nas estradas (OPAS, 2019).

Outro fator encontrado que revela ligação com a quantidade de sinistros é a renda média da população de uma região, que se apresenta como variável a ser considerada, pois à medida que a renda aumenta, há mais possibilidades de mobilidade e mais viagens realizadas, possibilitando maiores números na accidentalidade (Carvalho, 2022).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), a frota de veículos no Brasil no ano de 2006 era de 45.029.252. Até o mês de julho de 2025, segundo dados do SENATRAN (2025) a frota passou a ser de 126.755.108, ou seja, houve uma alta de mais de 180%, em dezenove anos. O aumento na frota não foi acompanhado pela ampliação na infraestrutura viária. Assim, a exposição de mais veículos em conjunto com outros fatores, inclusive os comportamentais, podem contribuir para a elevação dos índices de sinistros de trânsito (Carmo, 2019).

O estado geral de 67% da malha rodoviária brasileira foi avaliado em 2024, como regular, ruim ou péssimo, o que pode ter impactado a quantidade e a gravidade dos sinistros, visto que se apresenta como um fator de risco relevante (CNT, 2024).

De posse dos dados da CNT (2024), é possível verificar, conforme a Figura 1, que a partir de 2014, os sinistros nas rodovias federais vêm sendo reduzidos. Esse efeito pode ser atribuído às ações implementadas a partir da Primeira Década de Ações para Segurança no Trânsito, iniciada em 2011.

É possível, porém, perceber que, nos anos de 2020 e 2021, período em que, no Brasil e em todo o mundo, foram adotadas restrições, devido à gravidade da pandemia, esperava-se uma

redução significativa nos sinistros (inclusive com taxas inferiores às do período pré-pandêmico), em razão da diminuição de tráfego. No entanto, isso não aconteceu.

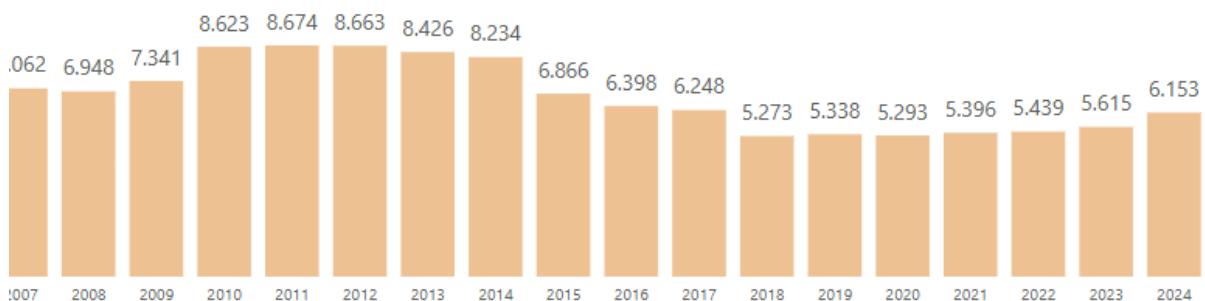
Figura 1 - Total de Sinistros em Rodovias Federais (2007-2024)



Fonte: CNT (2024)

Da mesma forma, esperava-se no mesmo período observar uma significativa redução nos óbitos ocorridos em sinistros nas rodovias. Porém, ao contrário do esperado, é possível verificar na Figura 2, um leve aumento nos números, possivelmente ocasionado por uma maior severidade dos sinistros.

Figura 2 - Total de Mortes em Rodovias Federais (2007-2024)



Fonte: CNT (2024)

A partir dessas informações, a literatura aponta que esse cenário foi encontrado não somente no Brasil, mas em muitos outros países, motivando estudos, sobre os impactos da pandemia de Covid-19 na segurança rodoviária. Como exemplo, Marshal *et al.* (2023) em uma revisão crítica de estudos sobre segurança viária no período da Covid-19, encontrou 39 artigos e relatórios que discutiram o efeito da pandemia na segurança do tráfego rodoviário. Os resultados dessas pesquisas atestam que a segurança foi impactada principalmente pela gravidade dos sinistros e nos comportamentos de risco dos motoristas em vários países.

Além disso, a maioria dos estudos realizados está localizada nos EUA, Europa, Oriente Médio e Ásia. Observa-se assim, uma lacuna geográfica em pesquisas sobre o impacto da pandemia em sinistros rodoviários na América do Sul. Neste continente, pode ter ocorrido diferentes reações com respeito a escolhas modais durante a crise da Covid-19 e comportamentos sociais distintos de outras partes do mundo (Marshall; Shirazi; Ivan, 2023).

Foi possível identificar também, que os estudos revisados possuem períodos relativamente curtos de análise, gerando a possibilidade de menor precisão dos resultados. No Tennessee, EUA, foi utilizado o ano de 2019 como referência de período pré-pandêmico e 2020 como ano da pandemia; em Bangladesh, na Ásia, foi analisado o período de 2016 a março de 2020; em Dallas, EUA, foi analisado o período de apenas oito meses de sinistros e em Utah, EUA, de 2019 à 2022 (Patwary; Khattak, 2023; Islam *et al.*, 2023; Das *et al.*, 2022; Gong; Lu; Yang, 2023).

Analizar o impacto de sinistros nas rodovias, antes e durante a pandemia, é fundamental para identificar também pontos e situações críticas que demandam maior atenção na introdução ou aprimoramento de medidas de segurança viária. Além disso, tal análise contribui para a mitigação dos efeitos negativos em eventuais surtos pandêmicos futuros (Doucette *et al.*, 2021; Elvik; Høye, 2023).

Apesar dos pesquisadores ao redor do mundo utilizarem diversos tipos de dados, métodos e análises para abordar os impactos do período pandêmico na segurança rodoviária, no Brasil, estes estudos ainda são escassos.

Dessa forma, a relevância deste estudo está relacionada à lacuna existente na literatura, especialmente no contexto brasileiro, quanto às análises das variáveis associadas à elevada incidência de sinistros nas rodovias federais. Além disso, o trabalho busca compreender a relação e os impactos desses sinistros antes e durante os períodos de maior disseminação da Covid-19, mesmo diante das restrições impostas pela pandemia.

Na presente pesquisa, foram utilizados dados de sinistros rodoviários de 2010 a 2022 da PRF e previsões por séries temporais, para o período mais crítico da pandemia, 2020 à 2022. Este período prévio mais longo, traz maior precisão para os resultados obtidos das tendências.

1.1 PERGUNTAS CONDUTORAS

As perguntas que nortearam a Tese são apresentadas a seguir:

Quais foram os impactos da pandemia na quantidade de sinistros rodoviários e em seus diferentes graus de severidade, ocorridos nas rodovias federais brasileiras, levando em conta as variações de volume de tráfego e a evolução da pandemia de Covid-19?

Como se distribuiu o impacto da pandemia nos diferentes tipos e causas de sinistros rodoviários?

1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESE

Esta Tese tem como objetivo geral analisar a relação entre os sinistros ocorridos em rodovias federais brasileiras, antes e durante a pandemia de Covid-19, bem como os impactos na quantidade e gravidade desses eventos. A investigação foi conduzida a partir da associação entre a previsão das séries temporais, os dados de evolução da Covid-19 e o tráfego rodoviário médio no período de maior propagação da pandemia.

Para atingir esse objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o comportamento dos dados de sinistros em rodovias federais de 2010 a 2019 e a mudança de tendência de 2020 a 2022;
- Identificar as variáveis que tiveram maior contribuição nas causas de sinistros nas rodovias federais no período pré-pandemia e durante a pandemia de Covid-19;
- Analisar as características dos impactos interestaduais dos sinistros na pré-pandemia e durante a pandemia de Covid-19;
- Colaborar com o debate relacionado à segurança rodoviária em períodos extraordinários, como os pandêmicos;

A hipótese central desta tese é que os impactos decorrentes da pandemia de Covid-19, como as restrições de mobilidade, que resultaram na redução do tráfego rodoviário com provável aumento de velocidade, e o aumento da pressão psicológica provocada pela percepção de risco frente ao crescimento do número de mortes, foram fatores determinantes para a intensificação de comportamentos perigosos na condução veicular, contribuindo, assim, para o aumento da ocorrência de sinistros graves e fatais nas rodovias federais brasileiras.

1.3 LIMITAÇÕES

Esta tese está limitada ao uso de dados sobre sinistros nas rodovias federais do Banco de Dados Abertos da Polícia Rodoviária Federal (PRF), não levando em consideração os dados de mortes ocorridas na rede hospitalar registradas no Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), visto que optou-se por analisar somente óbitos ocorridos no momento do sinistro e não

os que ocorreram em unidades hospitalares no pós-sinistro, casos estes registrados no SIM. Além disso, houve limitação na previsão temporal pela causa “falta de atenção” de sinistros, visto que essa passou a não ser discriminada a partir do ano de 2021.

A caracterização da evolução do tráfego nas rodovias foi estimada pelos dados das rodovias concessionadas no Brasil disponíveis na Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2023). Assim, admite-se que a evolução relativa do tráfego nas demais rodovias, pode ser representada por esses dados.

Estudos sobre a temática envolvida nesta tese, também foram uma limitação, visto a quantidade reduzida de estudos sobre sinistros em rodovias federais no período pandêmico ocorridos no Brasil.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese apresenta-se estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo trata da introdução, que aborda o problema, a justificativa, as questões, a hipótese, os objetivos e as limitações desta tese. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico com os principais tópicos relativos ao tema principal, divididos em accidentalidade rodoviária, a pandemia da Covid-19 e os sinistros rodoviários e a comparação entre artigos. O Capítulo 3 traz a metodologia da pesquisa, onde se explana as etapas do processo, os dados e métodos utilizados, seguido do Capítulo 4, que traz os resultados obtidos com a aplicação da metodologia e as discussões. Por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões do estudo, indicando o alcance dos objetivos, as contribuições e a indicação para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse capítulo é apresentado o referencial teórico desta tese, destacando os principais conceitos que conduzem este trabalho. Para o referencial teórico apresentado nesta seção, foi realizada uma revisão de literatura com o auxílio das bases de dados como: "google scholar", "Scopus", "Web of Science" e "ScienceDirect". As buscas foram realizadas utilizando os termos: "road accident", "road accidents in the world", "Traffic accidents in the pandemic", "road accidents during the pandemic", "increased traffic fatalities during pandemic", "accidents on federal roads in the pandemic", abrangendo os anos de 2020 a 2025.

No primeiro momento, os artigos foram selecionados com base no título ou palavras-chaves. Em uma segunda triagem, após a leitura do resumo, foram escolhidos apenas os artigos relacionados com o tema.

2.1 ACIDENTALIDADE RODOVIÁRIA

Conforme citado na justificativa desta tese, a accidentalidade rodoviária é um problema mundial. Sendo assim, o assunto é amplamente estudado, considerando várias perspectivas, conforme visto neste tópico.

Quando se pensa em segurança rodoviária, torna-se necessário conhecer a filosofia da Visão Zero que nasceu na Suécia no final dos anos 90 e tem como principal premissa que "ninguém seja morto ou gravemente ferido no sistema de transporte rodoviário". Esse conceito foi adotado oficialmente em 1997 pelo parlamento sueco através do Projeto de Lei de Segurança no Trânsito Rodoviário e se tornou amplamente conhecido. A Visão Zero é uma estratégia de longo prazo onde a responsabilidade pela segurança é, não somente de quem projeta o sistema, como também do usuário do sistema (Tingvall; Haworth, 1999). De acordo com o WRI Brasil (2021) a Visão Zero se tornou um movimento mundial na prevenção de mortes e feridos graves nas estradas com a adoção da abordagem de um sistema seguro para a segurança viária.

Em 2009, foi elaborado pela Organização Mundial de Saúde (OMS ou WHO, em inglês), o Relatório Mundial sobre Lesões Produzidas no Trânsito, em que foi constatada a gravidade dos impactos dos sinistros em todo o mundo. A partir das informações encontradas, em 2010, foi lançada a Década de Ações para Segurança no Trânsito com vigência de 2011-2020, tendo como objetivo, fazer com que os governos do mundo todo tomassem medidas de prevenção aos sinistros. Essas medidas baseiam-se em cinco pilares: gestão da segurança rodoviária, estradas e mobilidade mais seguras, veículos mais seguros, usuários da estrada mais seguros e resposta pós-sinistro (WHO, 2011).

Considerando que as metas da Primeira Década não foram alcançadas, pois os números de accidentalidade continuaram aumentando, em setembro de 2020, a Assembleia Geral da ONU decidiu por uma Segunda Década de Ação para Segurança no Trânsito, com vigência de 2021-2030, com um Plano Global apoiado por governos do mundo todo apresentando como meta, reduzir pelo menos 50% das mortes e lesões no trânsito até 2030 (WHO, 2020). Ainda de acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), as ações descritas no Plano Global têm o intuito de “inspirar os países, incluindo governos e parceiros, a agir de forma ousada e decisiva, usando as ferramentas e os conhecimentos adquiridos na última Década de Ação para mudar de rumo” (OPAS, 2021).

Desde os anos 2000, há um trabalho em conjunto da Organização Mundial de Saúde e do Banco Mundial, sobre a crise global de segurança no trânsito. Em 2015, o assunto foi elevado ao mais alto nível, entrando nas metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais especificamente no ODS 3 (Saúde e Bem-estar), que visa assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades (Peden; Puvanachandra, 2019).

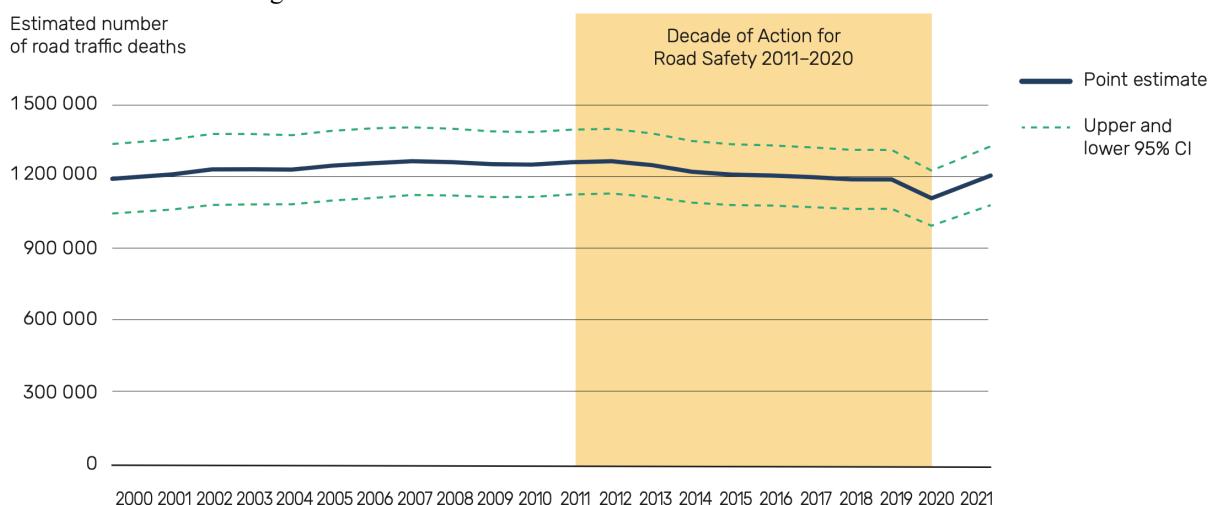
A partir dessa preocupação, o *Global Status Report on Road Safety* de 2018 traz alguns fatores de risco que contribuem com os sinistro como, erros humanos, excesso de velocidade, direção sob efeito de álcool e de substâncias psicoativas, falta de uso de capacetes por motociclistas, cinto de segurança e sistemas de retenção para crianças, direção distraída, além da infraestrutura rodoviária insegura (WHO, 2022).

No Paquistão, por exemplo, o grupo e a faixa etária que mais perdem a vida em sinistros rodoviários são os homens entre 20 e 40 anos. Neste estudo foi realizada pesquisa com jovens condutores que sofreram algum tipo de sinistro de trânsito. Os resultados apontam como principais fatores para os sinistros: distrações, condições climáticas, privação de sono, mudança insegura de faixa; experimentar sensações e autoestima (Khan; Zaidi; Ali, 2020).

Corroborando com o relatório da OMS sobre as lesões produzidas no trânsito, Grigorouds, Kouikoglou e Phillis (2022) estudaram 30 países na Europa, classificando os principais indicadores (impacto ambiental, eficiência, segurança e contribuições econômicas) de cada país com maior potencial para melhoria de sustentabilidade nos transportes e uma das mais importantes preocupações nos resultados foi a da fatalidade em sinistros, ou seja, entender que a redução de sinistros fatais, poderá apoiar diretamente a sustentabilidade do transporte nos países analisados.

Sabe-se ainda que, em 2010 a estimativa de mortes no trânsito, em todo o mundo, foi de 1.25 milhão. Em 2021, esse número chegou a 1.19 milhão, representando uma redução de 5%. A partir do início da Década de Ação para Segurança no Trânsito, iniciou-se uma redução gradual até 2021. Conforme mostra a Figura 3, o declínio acontece de forma lenta e não acompanhou o crescimento populacional, bem como o aumento da motorização. Uma das evidências de que o progresso é lento, é de que na África e na Ásia, as taxas de fatalidades no trânsito permanecem consideravelmente mais altas que a média global, respectivamente, 28% e 19% de toda a carga global de fatalidades (Peden; Puvanachandra, 2019).

Figura 3 - Número estimado de fatalidades no Trânsito de 2000 a 2021



Fonte: *Global Status Report on Road Safety* (2023)

Mohammed *et al.* (2019) realizaram uma revisão dos sinistros de trânsito nos países em desenvolvimento com maior índice de sinistros na Ásia e África, com o objetivo de revelar o impacto causado na economia, na sociedade e na segurança comum não só desses locais, como no mundo. O estudo ilustra que os sistemas de planejamento são deficientes, os padrões de segurança são baixos e existe a falta de consciência pública. Considera ainda que, o aumento da motorização não foi acompanhado de ações para reduzir a quantidade e a gravidade dos sinistros.

Sabe-se também que, à medida que a quantidade de veículos de duas e quatro rodas cresceu nos países asiáticos, as fatalidades no trânsito aumentaram, principalmente na Tailândia, onde as motocicletas são consideradas altamente perigosas, por serem os maiores causadores de fatalidades rodoviárias por excesso de velocidade (Klungboonkrong *et al.*, 2019).

Quando se observa especificamente os veículos de duas e três rodas, os dados ratificam os resultados já encontrados. A taxa global de mortes por veículos de duas e três rodas

aumentou, porém, não de forma significativa. No entanto, houve alta significativa nos países de baixa e média renda, enquanto nos países de alta renda, aconteceu uma redução considerável nas mortes (Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2022).

Na Índia, mais de 50% dos sinistros são causados por excesso de velocidade e o problema é agravado devido à natureza mista dos veículos que trafegam, motorizados ou não, além da falta de limites de velocidade, por exemplo, para veículos leves e pesados. Além disso, a aplicação e severidade das penalidades influencia o comportamento dos motoristas, ciclistas e pedestres junto com a baixa fiscalização, que reduz os esforços para melhorar a segurança no trânsito (Singh, 2017).

Uma análise dos dados de 161 países nos Relatórios de Status Global lançados em 2013, 2015 e 2018, para verificar a evolução a respeito dos compromissos de redução dos sinistros de trânsito em nível global, revelou que as taxas de mortalidade em países de baixa renda aumentaram em 38% de 2010 a 2016, sendo um número três vezes maior que em países de alta renda e 1,5 maior que em países de renda média. O estudo se baseou ainda nos indicadores Globais de segurança no trânsito, mostrando que no Pilar 1 (Gestão da Segurança Rodoviária), o número de países que coletaram dados anuais de acordo com as definições aceitas internacionalmente passou de 13 para 103; no Pilar 2 (Estradas e Mobilidade mais seguras) quatro dos cinco indicadores apresentaram melhorias no período; no Pilar 4 (Usuários Rodoviários mais Seguros), a maior mudança aconteceu no número de países com legislação sobre o uso de celular ao dirigir, que foi de 128 para 141 países. Os pilares 3 (Veículos Mais Seguros) e 5 (Resposta Pós-colisão) não tiveram mudanças significativas (Rosen *et al.*, 2022).

Peden & Puvanachandra (2019) concluem em seu estudo sobre a análise da segurança rodoviária global, que é possível reduzir as mortes e lesões no trânsito, mas para isso é necessário que os países “ampliem suas atividades de fiscalização, projetem estradas mais inteligentes, vendam veículos mais seguros e realizem poderosas campanhas de *marketing social*, para aumentar a conscientização entre todos os usuários das estradas”. Essas ações podem se tornar possíveis a partir da identificação dos fatores que têm influência nos sinistros, como o caso da Noruega, onde o volume de tráfego e os limites de velocidade estão diretamente ligados com a quantidade e a gravidade dos sinistros. Ao longo dos anos, os números foram reduzidos, a partir das ações tomadas para tal fim (Elvik; Høye, 2023).

Outra variável de controle estudada sobre sinistros rodoviários é o impacto da mudança de temperatura, sugerindo que esta pode afetar a condições de estradas, os veículos e a saúde mental dos motoristas. Os estudos mostraram que, entre os anos 1990 e 2019, as taxas de

sinistros de trânsito aumentaram globalmente devido a altas temperaturas, que afetam a irritabilidade, concentração, aumenta a frustração, fazendo com que se torne mais difícil lidar com qualquer situação adversa nas estradas (He *et al.*, 2023; Mohammed *et al.*, 2019).

O alcance das metas para redução de sinistros rodoviários tem relação direta com a segurança rodoviária, que necessita de investimentos e estes acontecem de forma diferente nos países de alta renda e nos de baixa renda. Na Europa, por exemplo, foi constatado que nos países de alta renda, os investimentos na construção e manutenção de estradas estão diretamente relacionados à redução da mortalidade rodoviária, enquanto nos países de baixa renda, as taxas de mortalidade são maiores, devido à falta de condição econômica para realizar investimentos na segurança viária (Navarro-Moreno; Calvo-Poyo; de Oña, 2023).

Heydari *et al.* (2019) afirmam que os países de baixa renda devem levar em consideração as experiências que deram certo nos países desenvolvidos e adaptá-las de acordo com os recursos e contextos dos Países de Baixa Renda (LIC's), como forma de potencializar os benefícios com menores custos.

O impacto econômico devido à accidentalidade rodoviária chega a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) em países de alta renda, portanto, a malha rodoviária tem influência direta na taxa de mortalidade. Assim, os gastos com manutenção e conservação das rodovias exerce impacto positivo na redução de sinistros, prolongando a vida útil e prevenindo o desgaste da infraestrutura. No entanto, o investimento na construção e pavimentação de estradas, pode ocasionar um efeito contrário, aumentando a quantidade de sinistros e mortalidade pela possibilidade de maiores velocidades (Wijnen; Stipdonk, 2016; Calvo-Poyo; Navarro-Moreno; de Oña, 2020; Kehagia; Giannaki, 2022).

Sobre a questão da accidentalidade no Brasil, de acordo com o relatório da OMS, sabe-se que o país é o terceiro com mais mortes no mundo, ficando atrás da Índia e da China, como já foi destacado anteriormente (WHO, 2022).

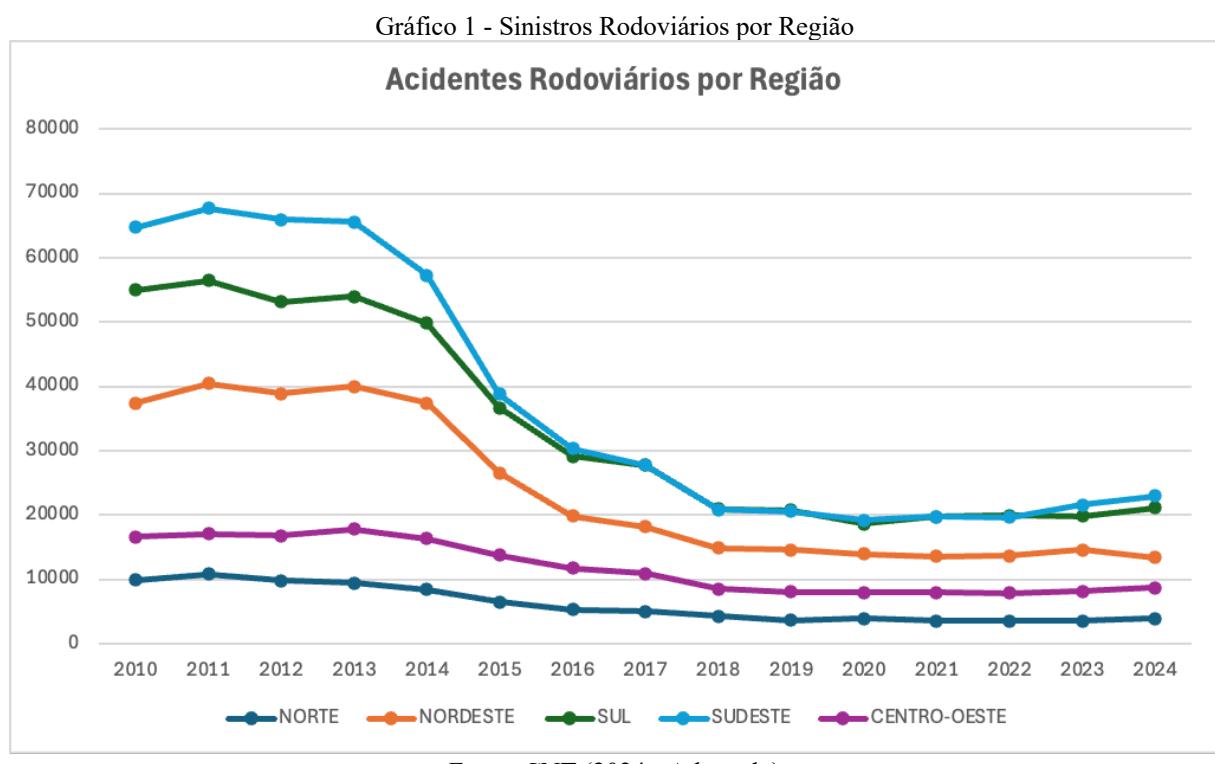
A partir de dados divulgados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) entre 2007 e 2017, foi constatado que, antes do início da Primeira Década de Ação pela Segurança no Trânsito em 2011, havia uma tendência de aumento do número de mortos e feridos em sinistros nas rodovias federais. Após 2011, a tendência passou a ser de redução, apesar de o número ainda ser considerado elevado. É importante aqui lembrar que os efeitos das ações acontecem de forma gradativa e em longo prazo (Andrade; Antunes, 2019).

Quanto às características dos sinistros, um estudo analisou dados da PRF, de 2017 a 2019, para estimar os fatores associados à severidade dos sinistros nas rodovias federais

brasileiras. Entre os resultados, foi possível verificar, que os sinistros que ocorrem ao amanhecer e durante à noite têm maiores chances de resultar em fatalidades. Além disso, os sinistros em trechos rurais têm 94,9% de chance de resultar em morte, do que os que ocorrem em segmentos urbanos. Isso pode ser explicado pelo fato de que, os veículos são mais propensos a altas velocidades, em trechos rurais abertos do que nos urbanos (Franceschi *et al.*, 2022).

No mesmo estudo, Franceschi *et al.* (2022) enfatizam que as condições climáticas como tempo limpo, horários e locais com menos veículos, favorecem as velocidades mais elevadas e portanto, estão diretamente associadas à gravidade nas colisões ocorridas. Esses resultados reforçam a hipótese levantada, de que a redução do tráfego, devido ao período pandêmico, pode ter indiretamente influenciado, o aumento da velocidade nas rodovias.

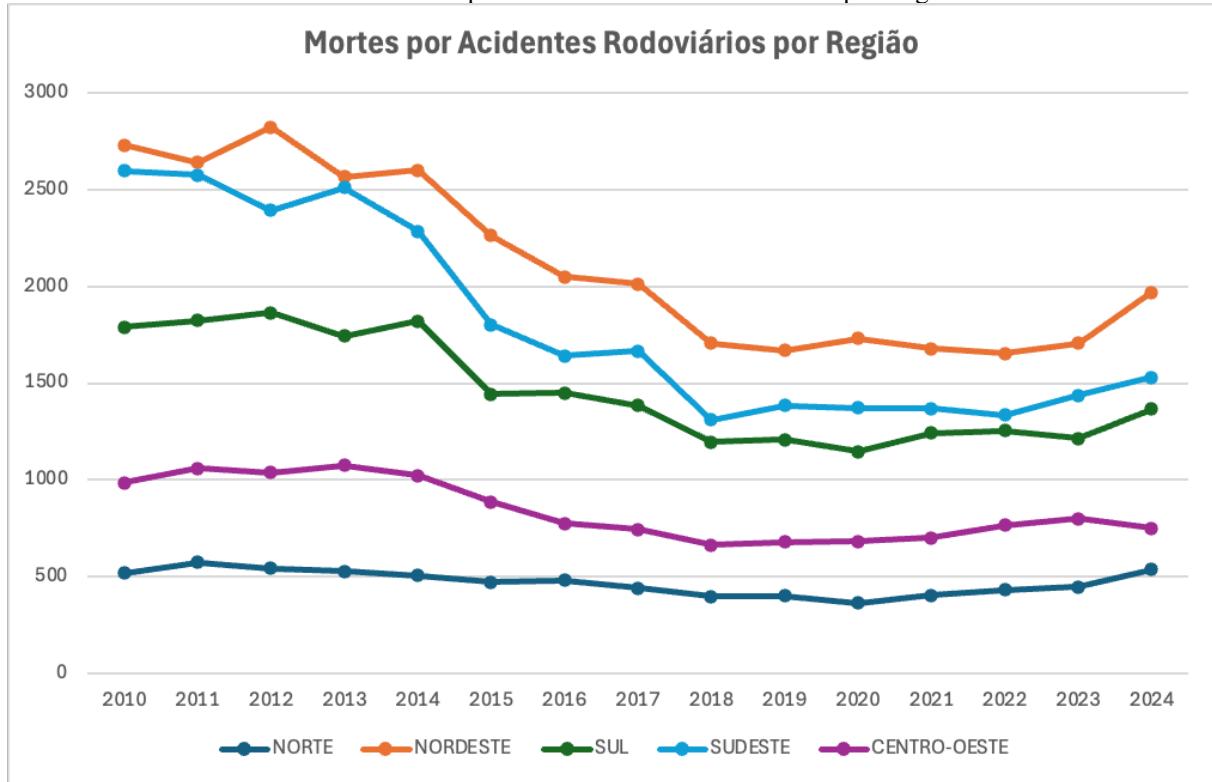
Ao analisar os dados de sinistros por região, o painel CNT de sinistros rodoviários mostra uma tendência de queda no número de sinistros em todas as regiões do Brasil, conforme o Gráfico 1. Porém, as regiões com maior número de sinistros registrados são as regiões Sul e Sudeste (CNT, 2023).



Quando se trata das mortes registradas por região, as maiores altas são encontradas no Nordeste e Sudeste, conforme o Gráfico abaixo. Além disso, a nível nacional, 61% destes óbitos

são ocasionados por colisão e como principal causa, transitar na contramão (15,2%) (CNT, 2024).

Gráfico 2 - Mortes por Sinistro em Rodovias Federais por Região



Fonte: CNT (2024 – Adaptado)

Por fim, é importante destacar que, para o alcance das metas da Década de Ação, é necessário um trabalho integrado, que envolve os sistemas de legislação, regulamentação e fiscalização associado à coleta e acesso de dados confiáveis, para que, posteriormente, aconteça uma análise econômica como base para decisões de investimentos na segurança viária (Heydari *et al.*, 2019).

2.2 A PANDEMIA DE COVID-19 E OS SINISTROS RODOVIÁRIOS

A pandemia de Covid-19 impulsionou a realização de diversos estudos voltados à análise do seu impacto na vida cotidiana das pessoas ao redor do mundo. Entre os temas investigados, destacam-se o uso do transporte público, os efeitos na saúde emocional e a ocorrência de sinistros rodoviários durante o período pandêmico. Nesse contexto, os veículos particulares tornaram-se o principal meio de transporte, e, as bicicletas passaram a ser preferidas como alternativa para deslocamentos individuais (Oestreich *et al.*, 2023). Ademais, observou-se uma mudança significativa no perfil relacionado ao objetivos de viagem, aos tipos de

transporte utilizados, à quilometragem percorrida e ao número de viagens realizadas, comparando-se os períodos pré-pandêmico e pandêmico (Shaik; Ahmed, 2022).

A disseminação da Covid-19 gerou medidas de bloqueios, suspensões de atividades profissionais, recreativas e religiosas durante grande parte do período de alta contaminação. Essas medidas, que visavam reduzir a propagação do vírus, geraram menos tráfego rodoviário e consequentemente, pela lógica de sua associação direta ao volume de tráfego, menos colisões.

No entanto, em muitos casos, observou-se a redução de sinistros apenas com lesões leves ou sem lesões, mas não verificou-se reduções nos sinistros com lesões graves ou com fatalidades (Qureshi *et al.*, 2020; Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Al-Hussein *et al.*, 2022).

Estudos iniciais, logo após a Covid-19 ser declarada como pandemia mundial, previram, que devido às restrições de circulação de pessoas, haveria menos tráfego, consequentemente, as colisões, fatalidades e ferimentos seriam reduzidos. Porém, outros fatores, como aumento da ansiedade geral na população, estresse, tempo ocioso, aumento de consumo de álcool e drogas e a possibilidade do excesso de velocidade, poderiam oferecer um risco adicional, à segurança rodoviária. Esses riscos, portanto, envolvem comportamentos inadequados na condução dos veículos (Shaik; Ahmed, 2022; Vingilis *et al.*, 2020).

Esses comportamentos foram identificados no Estado da Virgínia, EUA, após o início da epidemia da Covid-19. Os dados sugerem que comportamentos com agressividade (excesso de velocidade e embriaguez ao dirigir) e desatenção (condutores sem cinto, distraídos), podem induzir ao aumento da gravidade dos sinistros, principalmente em rodovias (Dong; Xie; Yang, 2022).

De acordo com relatório do *National Safety Council*, que calcula as fatalidades de trânsito nos EUA, mostrou que em 2020, apesar das restrições devidas ao avanço da Covid-19, as mortes aumentaram 8% em comparação ao ano de 2019, apresentando a maior elevação em 96 anos de observações (Palazzo, 2021). Uma combinação de fatores pode estar relacionada a esse fenômeno, como, por exemplo, as ruas vazias e o excesso de velocidade, que aumentou em 20% (Patwary; Khattak, 2023; Palazzo, 2021). Os achados desses autores, também reforçam a hipótese da excepcionalidade do período pandêmico, em produzir sinistros de trânsito mais graves, pelo aumento da velocidade.

No Japão, uma pesquisa analisou dados de sinistros fatais antes e após o anúncio da pandemia. Constatou-se que no período de restrições, houve redução no volume de tráfego e de colisões. No entanto, a quantidade de colisões fatais aumentou, principalmente devido ao

excesso de velocidade. Esse aumento, chegou a superar as expectativas para os meses analisados, com um crescimento de 52% em 2020 em comparação ao ano anterior (Inada; Ashraf; Campbell, 2021).

O excesso de velocidade está relacionado ao fator visual do motorista e ao risco percebido. Psicologicamente, os condutores entendem que, em estradas vazias e com pouco tráfego, o risco é menor, levando-os a dirigir em velocidades mais altas (Inada, Ashraf, Campbell, 2021). No Tennessee, EUA, um estudo mostrou que apesar da redução no total de sinistros, as fatalidades e os danos causados aumentaram durante a pandemia, em comparação com o ano de 2019. Os resultados estão relacionados ao excesso de velocidade, direção perigosa, além do uso de álcool e drogas (Patwary; Khattak, 2023). Esse resultado se repete na Índia, país conhecido por suas altas taxas de sinistros de trânsito. Nele se ratifica situação semelhante, ao se comparar os sinistros de trânsito de 2018 com o período de *lockdown* na pandemia, foi constatado que as rodovias ficaram mais inseguras em relação quantidade de mortes, de sinistros e feridos, também causados por excesso de velocidade e direção perigosa (Arun Pathak; Chandrasekaran; Annamalai, 2023).

Os impactos no primeiro semestre de bloqueios na pandemia foram estudados na Arábia Saudita e Grécia. A análise descritiva revelou, assim como em outros países, a redução considerável no volume de tráfego. Contudo, esse período foi acompanhado por um aumento no excesso de velocidade e uma elevação de 42% no uso de celular, caracterizando comportamento inadequado dos condutores. Na Grécia, especificamente, os sinistros fatais reduziram 41%, situação atípica em relação a outros países estudados na literatura.

O baixo volume de tráfego pode ser associado ao aumento de tédio. Para lidar com essa sensação, os condutores adotam comportamentos como excesso de velocidade, direção perigosa ou ainda o uso de celular (Katrakazas *et al.*, 2020; Sekadakis *et al.*, 2021; Tucker; Marsh, 2021).

Nos Estados Unidos, pesquisas realizadas no Alabama e no Maine, apresentam características parecidas durante os períodos de bloqueio. Esses estudos apontam para uma redução do volume de tráfego, excesso de velocidade, falta do uso de cinto de segurança, redução na quantidade de sinistros. Contudo, os sinistros graves ou fatais mostram números semelhantes aos registrados antes da pandemia (Adanu *et al.*, 2021; Shahlaee *et al.*, 2022). Analisando esses estudos, considerando que houve redução no volume de tráfego, pode-se inferir, que mesmo mantendo a quantidade de sinistros graves ou fatais, o risco relativo de acontecer um sinistro de alta severidade aumentou.

Nas rodovias de Ohio (EUA), também foi constatada uma relação direta entre o menor volume de tráfego, altas velocidades e gravidade dos sinistros ou sinistros fatais. Além disso, foi identificado um comportamento arriscado por parte dos motoristas, que incluía, além do excesso de velocidade, a condução sob o efeito de álcool (Stiles *et al.*, 2023).

Com dados de 24 países, que compõem o Grupo Internacional de Dados e Análise de Segurança (IRTAD) verificou-se a relação entre o impacto da pandemia no primeiro semestre de 2020 e a segurança no trânsito no período de 2017-2019. Os resultados mostram que houve uma queda significativa de 17,3% no número de mortes em comparação aos anos anteriores, com maiores reduções entre os jovens até 17 anos e idosos, a partir de 75 anos. Isso pode ser explicado pela paralisação das instituições de ensino e, no caso dos idosos, pela maior vulnerabilidade à contaminação que os levou ao isolamento (Wegman; Katrakazas, 2021). Os autores, porém, sinalizaram que, a partir do momento em que as restrições passaram a diminuir, o volume de tráfego aumentou e as reduções nas fatalidades entraram em queda.

Alguns autores analisaram os períodos de bloqueio. Por exemplo, em Sydney, Austrália, durante a primeira onda (março/abril 2020) e a segunda onda (junho/agosto de 2021), o número de sinistros caiu, respectivamente em 50% e 60%, comparado com os mesmos períodos de 2018 e 2019 (Chand *et al.*, 2021). Da mesma forma, na China, o número de lesões por sinistros de trânsito apresentou tendência de queda, principalmente nos períodos de bloqueios (Yuan *et al.*, 2023).

No estudo de Gupta *et al.* (2021), 15 países foram separados em dois *clusters*. O *cluster* 1 representa países com população mais jovem, maior necessidade de movimentação de mercadorias e alta fatalidade no trânsito em comparação ao *cluster* 2. O efeito da pandemia foi de redução de sinistros fatais em 9,1% e 18,4%, respectivamente. Essa diferença entre os grupos pode ser justificada pelo comportamento arriscado que os jovens tendem a apresentar na direção, pelo crescimento das entregas por venda de *e-commerce*, que colocam motoristas sob pressão para cumprir prazos e pelo histórico de fatalidades, que não se reduz de forma abrupta.

Al- Hussein *et al.* (2022) examinaram, na Malásia, o comportamento dos motoristas antes, durante e após o bloqueio da Covid-19. Trinta pessoas fizeram um trajeto de 25 km nesses três períodos, e o resultado demonstrou que os motoristas cometiam mais violações às regras de trânsito durante o bloqueio, principalmente os mais jovens, que dirigiram com maior velocidade e apresentaram comportamentos mais agressivos na direção, do que em qualquer outro período estudado.

Em Nova York, um estudo indicou que, com a elevação da quantidade de pessoas que ficaram em casa, a possibilidade de lesões para motoristas de veículos aumentou, sugerindo que em futuras pandemias ou no pós-pandemia, sejam monitorados os comportamentos de direção e os limites de velocidade (Dong *et al.*, 2022).

O impacto econômico das colisões rodoviárias também pode ser analisado a partir de dados hospitalares. Nos Emirados Árabes, foi detectado que os casos de hospitalização por traumas causados por colisões rodoviárias, reduziram em 33,5% em comparação ao período antes da pandemia, enquanto a mortalidade de hospitalizados foi de 4,4% contra 2,3% antes da pandemia, levando em consideração que houve alta nos sinistros com motocicletas (Yasin *et al.*, 2021). Características semelhantes foram encontradas no Sul do Brasil, onde o perfil dos acidentados no trânsito é predominantemente de homens jovens e motociclistas, e a quantidade de atendimentos, foi expressivamente menor, do que antes da pandemia (Silva *et al.*, 2022).

No Brasil, foram avaliados, em Fortaleza, os efeitos da Covid-19 nas infrações de trânsito, no volume de tráfego e nos sinistros de trânsito, o estudo utilizou dados das câmeras de fiscalização e foi realizado por meio de séries temporais interrompidas, modelos segmentados de Poisson e regressão binomial negativa. Os resultados mostram que houve no período de isolamento, redução no volume de tráfego entre 30% e 50%. A taxa de sinistros fatais foi maior que no período pré-pandemia, porém, houve redução na taxa de sinistros com feridos (Sobreira *et al.*, 2022).

No Brasil, os sinistros rodoviários apresentaram uma redução de 5,9% em 2020, em comparação ao ano de 2019. Contudo, um ponto relevante - em consonância com dados internacionais — é o aumento do número de mortes de motociclistas, seguido pelo segmento de caminhões. Esse fenômeno pode ser atribuído à intensificação da demanda por entregas do comércio eletrônico durante a pandemia (Galindo; Pavarino Filho, 2022).

Observa-se, no contexto brasileiro, uma lacuna significativa na literatura científica relacionada aos sinistros rodoviários durante a pandemia de Covid-19 e seus respectivos impactos. A ausência de estudos aprofundados sobre o tema limita o suporte técnico às autoridades responsáveis, especialmente no que se refere à formulação de estratégias eficazes de intervenção, tanto imediatas quanto de longo prazo, voltadas à prevenção e à mitigação de ocorrências em potenciais períodos de restrição à mobilidade.

Levando em consideração, os problemas da segurança no trânsito e os impactos causados pela pandemia, o alcance da meta da Segunda Década de Ação de Segurança é um

desafio que exigirá dedicação global em ações de segurança baseadas em evidências (Vecino-Ortiz *et al.*, 2022).

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE ARTIGOS

Neste tópico, será feita uma análise comparativa entre os artigos que abordam sinistros rodoviários no contexto da pandemia de Covid-19, com o objetivo de identificar semelhanças quanto aos resultados observados, às possíveis causas apontadas e às metodologias empregadas nos estudos.

Ao comparar os estudos citados nesta pesquisa sobre os fatores contribuintes para o aumento da quantidade e gravidade dos sinistros/colisões, foram encontradas variadas motivações. Entre os fatores, destacam-se o excesso de velocidade, frenagens e acelerações bruscas, como contribuintes para uma maior taxa de fatalidades (Katrakazas *et al.*, 2020; Adanu *et al.*, 2021; Inada; Ashraf; Campbell, 2021; Sekadakis *et al.*, 2021; Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Al-Hussein *et al.*, 2022; Dong *et al.*, 2022; Shaik; Ahmed, 2022; Shahlaee *et al.*, 2022; Sobreira *et al.*, 2022).

Pode-se dizer também, que reduções no número de mortes estão relacionadas às severas restrições de circulação impostas por alguns países (Wegman; Katrakazas, 2021). Porém, ainda foram identificados outros fatores, como a embriaguez ao dirigir e uso de drogas, falta de uso do cinto de segurança e menor risco percebido para ações inseguras no trânsito (Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Dong *et al.*, 2022; Shaik; Ahmed, 2022); uso de celular (Katrakazas *et al.*, 2020), e falhas na fiscalização e aplicação de leis de trânsito, que ocasionaram aumento nas infrações de trânsito no período observado (Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Sobreira *et al.*, 2022).

Na China, os principais fatores causadores de sinistros de trânsito são: o comportamento dos condutores, as condições das vias e dos veículos, e os fatores climáticos (Yuan *et al.*, 2023). Em outros países, as reduções das fatalidades em sinistros quando ocorrem, devem-se à aplicação rígida das leis de trânsito nos períodos de restrição e o comportamento adequado dos condutores nas estradas (Gupta; Pawar; Velaga, 2021).

A Tabela 1 ilustra as informações sobre os fatores que contribuíram para a quantidade e gravidade dos sinistros rodoviários.

Tabela 1- Fatores Contribuintes para a Quantidade e Gravidade de sinistros

Autores	Fatores Contribuintes (Quantidade e Gravidade)	Ano
Katrakazas <i>et al.</i>	Excesso de velocidade	2020
Adanu <i>et al.</i>	Frenagens	2021
Inada; Ashraf; Campbell	Aceleração brusca	2021
Sekadakis <i>et al.</i>	Direção sob efeito de álcool e drogas	2021
Yasin; Grivna; Abu-Zidan	Falta de uso de cinto de segurança	2022
Dong; Xie; Yang	Ações inseguras no trânsito	2022
Shaik; Ahmed	Deficiência na fiscalização	2022
Shahlaee <i>et al.</i>	Uso de celular ao dirigir	2022
Sobreira <i>et al.</i>	Condições da via Fatores climáticos	2023
Yuan <i>et al.</i>		

Fonte: A autora (2024)

No período estudado, foi constatado que houve redução no número de sinistros, colisões e sinistros com lesões leves, em todas as regiões, conforme o esperado diante da diminuição do volume de tráfego, devido às restrições causadas pela pandemia (Qureshi *et al.*, 2020; Chand *et al.*, 2021; Sekadakis *et al.*, 2021; Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Shaik; Ahmed, 2022; Sobreira *et al.*, 2022; Yuan *et al.*, 2023).

No entanto, a redução do número de sinistros, não foi proporcional à quantidade de sinistros graves e fatais, que em alguns casos, chegou a ser maior do que no mesmo período do ano anterior, indicando baixo desempenho na segurança rodoviária no período (Qureshi *et al.*, 2020; Adanu *et al.*, 2021; Chand *et al.*, 2021; Inada; Ashraf; Campbell, 2021; Sekadakis *et al.*, 2021; Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Shahlaee *et al.*, 2022; Shaik; Ahmed, 2022; Sobreira *et al.*, 2022; Yuan *et al.*, 2023).

Contudo, verificou-se que, na Grécia, houve redução de 42% no total de sinistros graves (Katrakazas *et al.*, 2020). Nos países membros do *International Safety Data and Analysis Group* (IRTAD), houve redução no número de mortes causadas por sinistros (Wegman; Katrakazas, 2021). Além disso, nos grupos de países pesquisados por Gupta; Pawar; Velaga (2021), foi identificada uma redução na taxa de fatalidades nos sinistros.

Indo de encontro aos resultados encontrados nos estudos anteriormente citados, na Virgínia, apesar do comportamento inseguro nas vias, o impacto da pandemia, não foi significativo para o agravamento dos sinistros (Dong; Xie; Yang, 2022).

Com relação às metodologias, foram aplicados diversos métodos nesses estudos revisados. Por exemplo, na Grécia, a análise de séries temporais SARIMA / ARIMA sazonal foi usada para comparar as medidas observadas com os valores previstos, caso não tivesse acontecido a pandemia. Da mesma forma, no Japão, essa metodologia foi utilizada para fazer as previsões em relação às colisões fatais com veículos motorizados (MVCs) (Inada; Ashraf; Campbell, 2021; Sekadakis *et al.*, 2021).

Shaik; Ahmed (2022) realizaram uma revisão da literatura para obter uma visão geral do impacto da pandemia em colisões, mortes e lesões. Na China, foram analisadas as características e tendências de lesões no trânsito, antes e depois da Covid-19, bem como os efeitos da pandemia em colisões de tráfego rodoviário (Yasin; Grivna; Abu-Zidan, 2021; Yuan *et al.*, 2023).

No Missouri, EUA, a análise de dados foi conduzida por meio do teste t de duas amostras e séries temporais interrompidas, utilizando os dados do sistema de registro de sinistros. Em Fortaleza, adicionou-se o modelo de regressão de Poisson para avaliar o efeito do isolamento social na segurança viária (Qureshi *et al.*, 2020; Sobreira *et al.*, 2022).

A modelagem de equações estruturais (SEM) foi aplicada para identificar a relação entre a gravidade de lesões por sinistro, Covid-19 e fatores de risco na direção, no Estado da Virginia, EUA (Dong; Xie; Yang, 2022). Na Malásia foram utilizados o teste t e testes de análise de variância (ANOVA) (Al-Hussein *et al.*, 2022).

Em Sidney, a significância estatística foi testada com o teste de qui-quadrado nos períodos determinados (Chand *et al.*, 2021). Wegman; Katrakazas (2021) empregaram um questionário enviado aos países membros do International Safety Data and Analysis Group (IRTAD) para solicitar o número de mortes em relação à quilometragem percorrida no período pandêmico.

O estudo realizado no Alabama, EUA, usou o método logit multinomial de classe latente e parâmetros aleatórios com heterogeneidade em modelos de médias e variâncias para explicar a heterogeneidade nos dados de colisão (Adanu *et al.*, 2021). No Maine, EUA, foi empregado um modelo de regressão binomial de efeito misto linear para modelar as chances de excesso de velocidade, para veículos que dirigem acima da velocidade permitida (Shahlaee *et al.*, 2022).

Por fim, a clusterização foi utilizada para dividir os países em grupos de acordo com as características, enquanto o modelo misto linear generalizado (GLM) foi utilizado para desenvolver relações entre variáveis dependentes e independentes (Gupta; Pawar; Velaga, 2021).

A Tabela 2 (abaixo), ilustra os métodos utilizados e seus autores, para melhor visualização.

Tabela 2 - Metodologia Utilizada nos artigos

Autores	Metodologia	Ano
Inada; Ashraf; Campbell Sekadakis <i>et al.</i>	SARIMA / ARIMA Sazonal	2021
Shaik; Ahmed		2021
Yasin <i>et al.</i>	Revisão da Literatura	2022
Yuan <i>et al.</i>		2023
Qureshi <i>et al.</i>	Séries temporais interrompidas; Regressão de	2020
Sobreira <i>et al.</i>	Poisson; Teste t de duas amostras	2022
Dong; Xie; Yang	Modelagem de Equações Estruturais (SEM)	2022
Al-Hussein	Análise de Variância (ANOVA)	2022
Chand <i>et al.</i>	Teste de Qui-quadrado	2021
Wegman; Katrakazas	Questionário	2021
Adanu <i>et al.</i>	Método Logit Multinomial de classe latente	2021
Shahlaee <i>et al.</i>	Regressão binomial de efeito misto linear	2022
Gupta; Pawar; Velaga	Análise de cluster e Modelo Misto Linear Generalizado (GLM)	2021

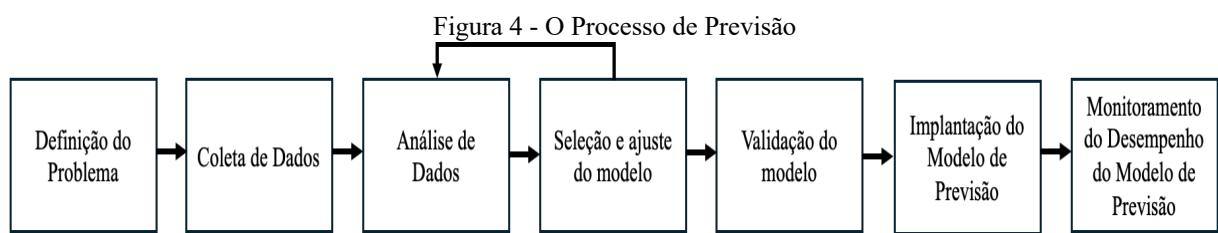
Fonte: A Autora (2025)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o alcance do objetivo desta pesquisa, foi utilizada a análise de séries temporais que, de acordo com Morettin e Toloi (2006), “é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo”. Essa análise pode ainda ser dividida em modelos paramétricos e não-paramétricos, e é uma técnica amplamente utilizada para previsão de eventos futuros, além de orientar tomadas de decisões estratégicas.

A análise de séries temporais possui alguns objetivos, como, por exemplo, investigar o mecanismo gerador da série temporal, fazer previsões de valores futuros da série (a curto ou longo prazo), descrever o comportamento da série (tendências, ciclos, variações sazonais) ou ainda procurar periodicidades relevantes nos dados (Morettin e Toloi, 2006).

Além disso, os gráficos gerados pelas séries temporais caracterizam a distribuição dos dados e revelam padrões aleatórios, tendências, sazonalidade, períodos, observações incomuns ou uma combinação de padrões. Os autores esclarecem ainda que um modelo de previsão segue algumas etapas específicas, conforme a figura abaixo (Montgomery; Jennings; Kulahci, 2015).



Fonte: Adaptado de Montgomery *et al.* (2015)

A partir do processo de previsão, há necessidade da escolha do modelo que melhor se adapta ao comportamento dos dados que serão analisados. Para esta tese, observando que os dados de sinistros seguem um comportamento sazonal, foram testados dois modelos de previsão, sendo o Modelo Sazonal Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (SARIMA) e o modelo de Estado de Espaço de Suavização Exponencial (ETS).

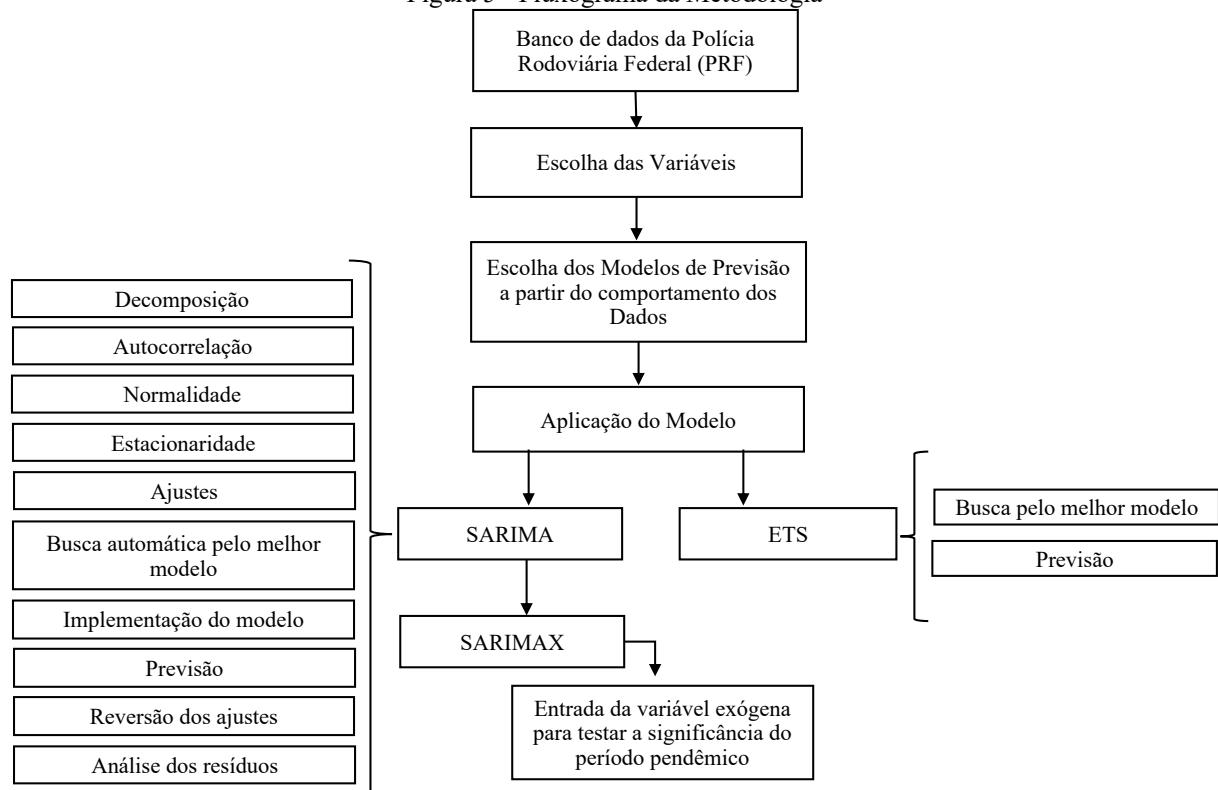
A escolha do modelo SARIMA se deu a partir de algumas características que permitem que dados de contagem, como este caso de sinistralidade rodoviária possam ser analisados através do método. Segundo Wei (2006), há necessidade de uma grande quantidade de dados (pelo menos 50 observações), supõe-se normalidade e ausência de zeros (Box; Jenkins, 1976). No caso deste estudo, a série apresenta valores elevados, visto que são analisados dados de 12

anos de observações de sinistros nas rodovias e ausência de zero, condições nas quais os processos de contagem se aproximam de uma distribuição normal.

Inicialmente, o modelo SARIMA foi testado. No entanto, considerando como referência os valores do Erro Percentual Médio Bruto (MAPE), medida esta amplamente utilizada em métodos quantitativos de previsão para comparar a precisão de modelos e avaliar seu desempenho relativo (Makridakis; Wheelwright; Hyndman, 1998; Ostertagová; Ostertag, 2012), constatou-se que, em algumas previsões, os valores ficaram acima do percentual considerado aceitável, indicando imprecisão. Dessa forma, o modelo ETS foi adotado como segunda opção, com base em estudos da literatura (citados no tópico 3.6) que demonstram sua ampla aplicação em previsões de séries temporais.

Abaixo, a Figura 5 ilustra o fluxograma da metodologia detalhando a sequência de passos realizados até se chegar à comparação da previsão com os dados reais.

Figura 5 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: A autora (2025)

3.1 MODELO SAZONAL AUTORREGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIAS MÓVEIS (SARIMA)

Os modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis com Sazonalidade são conhecidos como SARIMA ou ainda chamados de ARIMA sazonal. Eles se aplicam de forma satisfatória a dados de colisões rodoviárias.

Esses modelos têm sido amplamente utilizados em pesquisas com séries de dados para análise de tendências futuras. Por exemplo, na Estação de Nanjing, na China, com a utilização do modelo SARIMA, foi possível prever a temperatura média de 36 meses futuros através da utilização de dados de 35 anos anteriores (Chen *et al.*, 2018).

Na Arábia Saudita, o modelo foi utilizado para identificar os fatores que impactam nos crimes, além de identificar a probabilidade de distribuição dos crimes, com base na localização e na taxa de crimes nesses locais (Noor *et al.*, 2022).

Na Índia, o SARIMA demonstrou que o Índice de Saúde Abrangente (CHI) e o Índice de Restrição (SI) tiveram impacto na propagação da COVID-19 (Kishore *et al.*, 2023).

O passo-a-passo para construção do modelo será realizado segue o prescrito por Box e Jenkins (1976); Bisgaard, Kulahci (2011) e Essi, Wiri (2018):

1. Análise das classes de modelos de séries temporais;
2. Autocorrelação e autocorrelação parcial;
3. Teste de estacionaridade;
4. Modelagem SARIMA;
5. Teste residual;
6. Erro do conjunto de teste;
7. Previsão;

O modelo SARIMA é criado a partir do modelo ARIMA, onde se ajustam modelos autorregressivos integrados de médias móveis. No caso do modelo SARIMA, é incluída a sazonalidade. As equações 1 e 2 são baseadas na simplificação utilizada no estudo de Sekadakis *et al.* (2021).

O modelo ARIMA é explicado pela equação a seguir:

$$\text{ARIMA } (p, d, q) \quad (1)$$

É a parte não sazonal do modelo, onde, de acordo com Nau (2020):

p: é o número de termos autorregressivos;

d: número de diferenças não sazonais para estacionaridade;

q: é o número de erros de previsão defasados na equação de previsão;

O modelo SARIMA engloba as variações sazonais e não sazonais, explicado através da Equação 2:

$$\text{ARIMA } (\mathbf{p}, \mathbf{d}, \mathbf{q}) \times (\mathbf{P}, \mathbf{D}, \mathbf{Q}) s \quad (2)$$

Onde a parte sazonal é descrita por Shumway, Stoffer (2010):

P: é a ordem autorregressiva sazonal;

D: é o número de diferenças sazonais;

Q: é a média móvel sazonal;

s: é o intervalo de tempo do padrão sazonal;

Para determinar os parâmetros do modelo SARIMA, são utilizados principalmente, o critério de informação de Akaike (AIC) e a estimativa de máxima verossimilhança (MLE). A partir disso, são utilizados como critérios para a seleção do modelo o AIC, que representa o número de parâmetros a serem estimados no modelo e o Critério de Informação Bayesiano (BIC), que se baseia na máxima verossimilhança do modelo testado (AKAIKE, 1974; SCHWARZ *et al.*, 1978).

$$AIC = -2\log L(\theta) + 2(p) \quad (3)$$

$$BIC = -2\log f(x_n | \theta) + p\log n \quad (4)$$

Após o desenvolvimento dos modelos nos conjuntos de teste e validação, as previsões serão avaliadas seguindo métricas de avaliação de previsão, além de verificar a significância estatística do modelo e fixar o intervalo de confiança em 95%. Sendo assim, Sekadakis *et al.* (2021), avaliam em sua pesquisa:

- Erro médio (ME);

$$ME = \frac{1}{n} \sum e_t \quad (5)$$

- Erro Médio Absoluto (MAE);

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |e_t| \quad (6)$$

- Erro Percentual Médio (MPE);

$$MPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|e_t|}{y_t} \cdot 100\% \quad (7)$$

- Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE);

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|e_t|}{y_t} \cdot 100\% \quad (8)$$

- Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE);

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum e_t^2} \quad (9)$$

Essas medidas de erro de previsão devem ser analisadas em qualquer modelo utilizado para prever séries temporais a fim de avaliar a precisão do modelo. Dentre todos os parâmetros, o MAPE é a medida de precisão mais utilizada em métodos de previsão, sendo: MAPE menor que 10% considerado como uma excelente precisão da previsão, entre 10% e 20%, a previsão é boa, entre 20% e 50%, a previsão é aceitável e em casos maiores que 50%, a previsão é imprecisa (Dutta; Pratim Barman; Narayan Patowary, 2022; Ostertagová; Ostertag, 2012).

3.2 MODELO DE ESTADO DE ESPAÇO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL (ETS)

Existem alguns métodos de previsão, que se enquadram na família da suavização exponencial e funcionam com base na premissa de que as previsões são combinações de observações passadas com observações recentes, que recebem mais peso do que as observações antigas, ou seja, a “suavização exponencial” se refere ao fato, que os pesos diminuem exponencialmente, à medida que as observações ficam mais antigas (Hyndman, 2008).

O método ETS significa erro, tendência e sazonalidade, onde há uma combinação de um termo de nível (ℓ) e outro de crescimento (b) para formar o componente de tendência. A partir desta combinação, é possível criar, de acordo com (Hyndman, 2008), cinco tipos de tendências futuras, onde Th é a tendência prevista para os próximos h períodos de tempo, e ϕ um parâmetro de amortecimento ($0 < \phi < 1$), conforme ilustrado abaixo:

N - Sem tendência: $Th = \ell$

A - Aditivo: $Th = \ell + bh$

Ad - Amortecimento aditivo: $Th = \ell + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)b$

M - Multiplicativo: $Th = \ell b^h$

Md - Amortecimento multiplicativo: $Th = \ell b(\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)$

O autor, através do seu livro, cita ainda que a minimização dos coeficientes (AIC, AICC e BIC) ou do erro da previsão (MSE/MAPE), são os critérios utilizados para a otimização do modelo. E assim como no modelo SARIMA, o AIC é utilizado para selecionar o melhor modelo entre os modelos de erro aditivo e multiplicativo. O modelo final assume uma sequência de três

caracteres (Z,Z,Z), em que a primeira letra identifica a suposição de erro do modelo de espaço de estado, a segunda indica o tipo de tendência e a terceira, o tipo de sazonalidade. O ETS funciona de forma automática para escolha do melhor modelo para previsão, fornecendo os intervalos da previsão.

O ETS é utilizado para previsões de séries temporais em estudos de diversas áreas. Diferentemente dos modelos SARIMA, ele é baseado na decomposição dos componentes, ao invés de focar na autocorrelação dos dados. O modelo foi aplicado também em pesquisas sobre Covid-19, como no caso da Turquia, onde foram utilizados alguns métodos de previsão de séries temporais individualmente e em conjunto para comparar as técnicas e prever a disseminação da Covid-19 durante a pandemia (Evkaya *et al.*, 2025).

Na Índia, o ETS foi utilizado como método, junto com o ARIMA, para comparação entre os modelos, com o objetivo de prever a ocorrência de sinistros nos próximos 10 anos, a partir de dados de 1991 a 2020. As duas técnicas foram escolhidas por serem amplamente utilizadas na previsão de séries temporais (Swain; Tripathy; Agrawal, 2023).

Dutta; Pratim Barman; Narayan Patowary (2022) escolheram o ETS, para determinar a tendência e identificar o modelo adequado para mortes anuais causadas por sinistros de trânsito na Índia. O estudo trabalhou com dados de 1967 a 2015, onde, inicialmente foram utilizados como dados de treino, o período de 1967 a 2005, gerando a previsão para o período de 2006 a 2015. O objetivo era verificar se o modelo seria satisfatório para as características dos dados e compará-los com os dados reais do período. A partir da constatação de que o ETS se ajustou bem aos dados, o estudo realizou a previsão de mortes para os 10 anos seguintes.

3.3 MODELO DE MÉDIA MÓVEL INTEGRADA AUTORREGRESSIVA SAZONAL COM VARIÁVEIS EXÓGENAS (SARIMAX)

O ARIMA é o principal método utilizado para modelar séries temporais e dele derivam outros modelos, como o SARIMA, que inclui padrões sazonais inerentes aos dados da série temporal e que é aplicado nesta pesquisa.

O SARIMA é estendido para um modelo SARIMA com variáveis externas, denominado de SARIMAX (p,d,q) (P,D,Q_sX), em que X é o vetor de variáveis externas. O modelo pode ser expresso de acordo com (Cools; Moons; Wets, 2009) como:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_k X_{k,t} + \frac{[\theta_q(B)\theta_Q(B^s)]}{[\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1 - B)^d(1 - B^s)^D]} \varepsilon_t$$

Onde $X_{1,t}$, $X_{2,t}$, ..., $X_{k,t}$ são as observações das variáveis externas que correspondem a variável dependente Y_t e β_0 , β_1 , ..., β_k são os coeficientes de regressão das variáveis externas (Cools; Moons; Wets, 2009).

O modelo pode ser utilizado sozinho ou em combinação com outros modelos de previsão, como forma de ratificar um possível impacto significativo de uma variável externa aos dados estudados, como ilustram alguns casos a seguir.

O SARIMAX, bem como outros modelos de previsão de séries temporais e técnicas de aprendizado de máquina foram usados em um estudo no Rio de Janeiro para prever surtos de dengue com e sem a inclusão de fatores climáticos, ou seja, o SARIMAX foi utilizado para inserção desta variável. Um dos resultados obtidos mostrou que o uso do SARIMAX na incorporação das variáveis climáticas melhorou significativamente a precisão preditiva (Chen; Moraga, 2025).

Um estudo realizado com dados O-D (origem-destino) de passageiros aéreos da rota doméstica Los Angeles para Nova York e rota internacional Istambul para Londres, examinou o impacto da capacidade de assentos e das tarifas nos passageiros investigando se essas variáveis devem ser tratadas como endógenas e exógenas. Foram utilizadas três abordagens: o modelo SARIMA, o modelo VAR (Modelo de Vetor Autorregressivo) e o SARIMAX. Os resultados mostraram, que tratar as variáveis como exógenas melhora significativamente a precisão da previsão de passageiros, desta forma o modelo SARIMAX supera os outros modelos testados (Abdelghany *et al.*, 2025).

Em Nova York, uma pesquisa investigou os impactos da pandemia nos serviços de compartilhamento de bicicleta e transporte por aplicativo baseados em estações da cidade, abrangendo os períodos antes, durante e depois da pandemia. Como metodologia foram desenvolvidos dois modelos de séries temporais (ARIMA e SARIMA) baseados no SARIMAX. Os resultados indicaram que o compartilhamento de bicicletas se recuperou rapidamente, superando os níveis de viagens pré-pandemia ao final da fase de restrições sociais. Em contraste, o transporte por aplicativo não se recuperou totalmente e continua inferior aos níveis pré-pandemia (Chang *et al.*, 2024).

As restrições do período pandêmico geraram um estudo em Trinidad e Tobago, para avaliar as implicações das restrições na criminalidade, visto um possível impacto nas taxas de

criminalidade, devido à alteração nas condições sociais e econômicas. Foram analisados dados mensais de 2013 a 2023 sobre homicídios, crimes sexuais e furto de veículos para a previsão de séries temporais com o SARIMAX. Os resultados constaram uma redução nos homicídios e furtos de veículos no início das restrições, seguida de uma tendência inversa com a flexibilização das medidas de isolamento, e os crimes sexuais não apresentaram mudanças significativas (Dookeram *et al.*, 2025).

3.4 COLETA DE DADOS

Os dados de sinistros rodoviários analisados nesta pesquisa pertencem ao banco de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF), em um recorte de 2010 a 2022, considerando a rede rodoviária federal brasileira de 75.800 km de extensão. Esses dados foram utilizados para aplicação dos modelos de séries temporais, identificação da mudança de tendência e das variáveis com maior contribuição para a quantidade e gravidade dos sinistros registrados.

O recorte temporal até o ano de 2022 justifica-se pelo fato de que a partir deste ano os impactos da pandemia foram intensamente reduzidos devido as campanhas de vacinação contra o vírus e os deslocamentos rodoviários voltaram a ter 100% de normalidade.

No *site* na PRF, é possível encontrar blocos de dados registrados como: dados por ocorrência, dados por pessoa e todas as causas e tipos de sinistros. Neste estudo, foi utilizado o banco de dados por ocorrência, por melhor englobar as informações necessárias para o alcance do objetivo da pesquisa.

A tabela abaixo ilustra as variáveis registradas pela PRF:

Tabela 3 - Variáveis encontradas nos Dados de Sinistros da PRF

Informações	Dados por Ocorrência	Dados por Pessoa	Todas as Causas e Tipos de Sinistros
ID	X	X	X
Data	X	X	X
Dia da semana	X	X	X
Uf	X	X	X
Br / km /	X	X	X
Município	X	X	X
Causa do sinistro	X	X	X
Tipo de sinistro	X	X	X
Classificação	X	X	X

Fase do dia	X	X	X
Sentido da via	X	X	X
Condição meteorológica	X	X	X
Id do veículo		X	X
Tipo de veículo		X	X
Marca do veículo		X	X
Ano de fabricação		X	X
Tipo envolvido		X	X
Idade		X	X
Sexo		X	X
Tipo de pista	X	X	X
Traçado da via	X	X	X
Uso do solo	X	X	X
Ano	X	X	
Quantidade de pessoas envolvidas	X		X
Mortos	X	X	X
Feridos leves	X	X	X
Feridos graves	X	X	X
Ilesos	X	X	X
Ignorados	X		
Feridos	X		
Quantidade de veículos	X		

Fonte: A autora (2025)

A partir da escolha do banco de dados a ser utilizado, os dados foram tratados para retirada de registros duplicados, caracteres indevidos e demais correções de erro. É importante destacar, que os dados da PRF estão dispostos em 26 (vinte e seis) variáveis permitindo análises de diversas formas: por estado, municípios, causa de sinistro, tipo de sinistro, dia da semana, rodovia, tipo de pista, entre outros.

Neste estudo, serão analisadas as variáveis: Unidade Federativa (UF), principais causas de sinistro, número de mortos e feridos graves.

Para a aplicação dos modelos de séries temporais foi utilizado o *software* RStudio. Inicialmente, todas as bases de dados de 2010 a 2022 foram importadas. A partir da coluna

“UF”, os estados foram agrupados por região. As causas de sinistro foram ordenadas de acordo com a frequência registrada. Foram ainda estudadas as causas mais frequentes (falta de atenção e velocidade incompatível).

Para a aplicação de todos os métodos, foram utilizados dados mensais com a escolha da série de treinamento de jan/2010 a 02/2020 e para o período de mar/2020 a mar/2022 foi realizada a previsão da série temporal e na sequência a comparação com os dados reais do mesmo período.

Além dos dados da PRF, foram utilizados os dados da evolução de casos de Covid-19 disponibilizados pelo Ministério da Saúde (MS) para identificação, análise e associação dos períodos de maior pico de casos e mortos com os sinistros. Os dados de tráfego das rodovias pedagiadas do país disponibilizados pela ANTT foram utilizados para associação com as séries temporais geradas, a partir dos sinistros rodoviários no período de 02/2020 a 03/2022.

3.5 APLICAÇÃO MODELO SARIMA

Para se chegar ao modelo final, que mais se ajusta ao comportamento dos dados, é necessário seguir um passo-a-passo:

Foi definido que a série de treinamento seria de jan/2010 a fev/2020, visto que os casos de Covid-19 no Brasil, passaram a ter maior expansão com a necessidade de ações governamentais como o *lockdown* a partir de março de 2020. Sendo assim, a série de teste foi prevista para 24 meses, a partir de mar/2020.

A princípio se faz a decomposição da série de treinamento para avaliar o comportamento dos dados e se de fato possuem características de sazonalidade para justificar o uso do SARIMA, além de verificar a tendência e os resíduos. Logo depois, se faz o teste de autocorrelação, para verificar o quanto os valores atuais estão relacionados aos valores passados da série. É importante que os dados possuam autocorrelação significativa para o uso do modelo SARIMA.

Em seguida, é testada a normalidade dos dados, e, se estes não a apresentam, é necessário fazer uma transformação para reduzir a variância e melhorar a normalidade. O próximo passo, é o teste Philips-Perron para verificar a estacionaridade. Em caso de uma série não estacionária, se faz uma verificação de quantos ajustes são necessários para tornar a série estacionária, através da função “*ndiffs*” e logo após, usa-se a função de diferenciação. Para verificar se a série se tornou estacionária é necessário refazer o teste.

Feitos os testes e ajustes necessários, é possível fazer a busca do melhor modelo de forma automática, a partir da função “*autoarima*” do R. Logo após, o modelo é implementado e posteriormente analisada a qualidade dos resíduos do modelo. Em seguida, através da função “*forecast*” é realizada a previsão para os próximos períodos desejados (meses, anos), é revertida a diferenciação realizada nas funções iniciais e é possível plotar a comparação entre a previsão e a série real.

3.6 APLICAÇÃO DO MODELO ETS

Ao contrário do modelo SARIMA, os passos para se chegar ao melhor modelo com utilização do ETS são mais simples. Foi utilizada a mesma série de treinamento e a partir dela se aplica a função ETS, para que o modelo encontre os melhores parâmetros para Erro, Tendência e Sazonalidade, de acordo com o comportamento dos dados.

No ETS, não há necessidade de se fazer transformações e outros ajustes antes de ser gerada a previsão, visto que o modelo realiza automaticamente estes ajustes. Esse modelo considera diferentes combinações estruturais de componentes da série, como a presença ou ausência de tendência e sazonalidade.

A aplicação do modelo ETS pode ser realizada de forma eficiente por meio da função “*ets*” do pacote *forecast* do R. Essa função identifica automaticamente a melhor combinação entre os componentes do modelo (aditivo ou multiplicativo), ajustando os parâmetros a partir da decomposição dos elementos estruturais da série temporal.

O modelo ETS escolhido é indicado no sumário do objeto ajustado (por exemplo, ETS (A, A, N), representando um modelo com erro aditivo, tendência aditiva e sem sazonalidade). O horizonte de previsão (h) pode ser ajustado de acordo com a necessidade do estudo, que neste caso ocorreram para 24 meses, 10 meses ou 12 meses.

Além disso, a função “*accuracy*” pode ser utilizada para avaliar a acurácia do modelo com base em métricas como RMSE, MAE e MAPE, permitindo a comparação entre diferentes abordagens de modelagem. Neste caso foram utilizados como referência, os valores de MAPE, assim como no modelo SARIMA

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados gerados pelos modelos SARIMA e ETS e realizadas as discussões a partir das comparações gráficas e em tabelas. Além disso, serão realizadas as associações com os dados de óbitos de Covid-19 e óbitos por sinistro em relação ao volume de tráfego no Brasil.

4.1 EVOLUÇÃO DOS ÓBITOS POR SINISTROS EM RELAÇÃO AO VOLUME DE TRÁFEGO

O Gráfico 3 ilustra a comparação entre os óbitos por sinistro rodoviário e o volume de tráfego rodoviário no Brasil, correspondente ao período de maior criticidade da pandemia no país. Por meio desse gráfico, é possível analisar que no mês de abril/2020, houve uma queda brusca no volume de tráfego, que não foi acompanhada pela redução de óbitos por sinistros no mesmo mês. É possível verificar apenas uma leve queda no número de óbitos em comparação ao mês anterior. A partir de junho de 2020, há uma crescente na quantidade de óbitos e no volume de tráfego, que superam os meses anteriores, chegando até dezembro de 2020, quando há um pico.

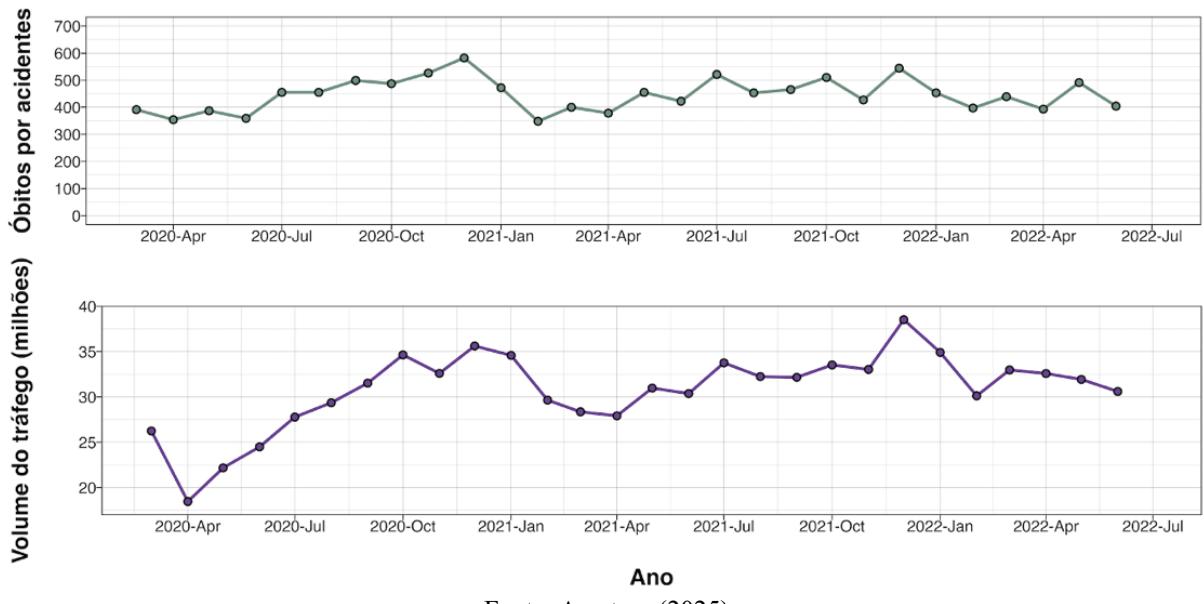
Esse comportamento pode ser explicado devido ao relaxamento das políticas de isolamento impostas pelas autoridades sanitárias, conforme ratifica o IPEA (2020), que acompanhava a cada quinze dias, o relaxamento das regras de isolamento no país. Sendo assim, o relaxamento levou ao aumento do tráfego, apesar da pandemia se manifestar ainda de forma grave nesse período.

A partir do final de dezembro de 2020 a abril de 2021, apesar de a população ainda não estar vacinada e o surgimento de novas cepas do vírus, houve uma redução no volume de tráfego, bem como na quantidade de óbitos no período. De abril a maio de 2022, com o avanço da vacinação, as mortes e o volume de tráfego tiveram um pequeno aumento, com tendência de retorno às médias anteriores a pandemia. É possível perceber nessa fase, pequenas variações sazonais.

O teste de correlação de Pearson corrobora com as informações encontradas no gráfico e indicadas acima, encontrando um valor de $r = 0,459854$ o qual indica uma correlação moderada e positiva, ou seja, quando o tráfego aumenta, o número de mortos em sinistros tende a aumentar com força moderada. O resultado é reforçado pelo p -valor = 0,0181 indicando que a correlação é estatisticamente significativa. O comportamento de redução do tráfego e

manutenção dos óbitos é pontual devido as consequências de períodos mais críticos da pandemia.

Gráfico 3 - Evolução dos óbitos por Sinistros x Evolução do Volume de Tráfego

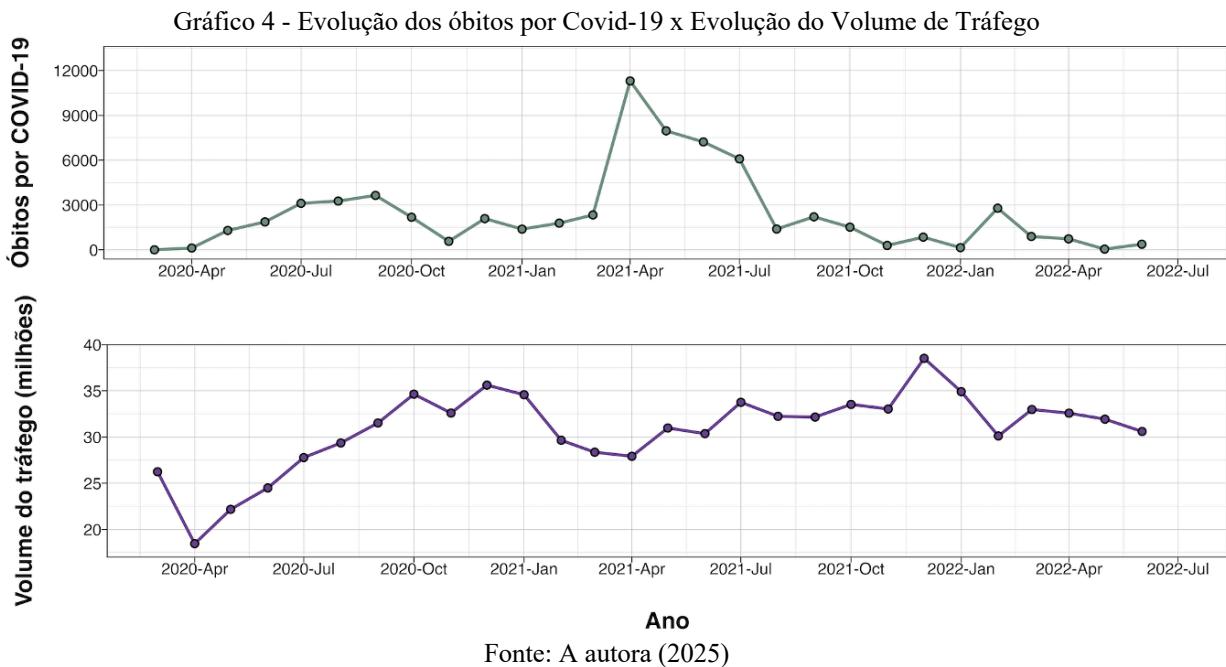


Fonte: A autora (2025)

4.2 EVOLUÇÃO DOS ÓBITOS POR COVID-19 EM RELAÇÃO AO VOLUME DE TRÁFEGO

O Gráfico 4 traz informações comparativas da evolução do volume de tráfego rodoviário no Brasil com a evolução dos óbitos causados por Covid-19. A partir de abril de 2020 até setembro de 2020, quando ocorreu o primeiro pico de mortes da pandemia, o volume de tráfego entra em uma crescente, após as fortes medidas de isolamento social impostas entre março e abril de 2020. O tráfego continua crescendo até dezembro de 2020, enquanto há uma redução nas mortes por covid-19 entre setembro e novembro. Na segunda onda de covid, há uma associação inversa entre o pico de mortes na pandemia e a redução no volume de tráfego, possivelmente devido às medidas de isolamento, que foram novamente impostas em todo o país. A partir de julho de 2021, o tráfego volta a apresentar estabilidade com variações sazonais normais e com uma constante redução de mortes por Covid-19 conforme é possível visualizar graficamente.

Apesar das observações acerca da relação entre os óbitos por Covid-19 e o tráfego rodoviário no mesmo período, o teste de correlação de Pearson é igual a $r = 0,00426$ indicando baixa correlação, sendo ainda validado pelo p -valor de 0,9835, ou seja, acima de 5% indicando falta de significância e de evidências de correlação entre as variáveis avaliadas.



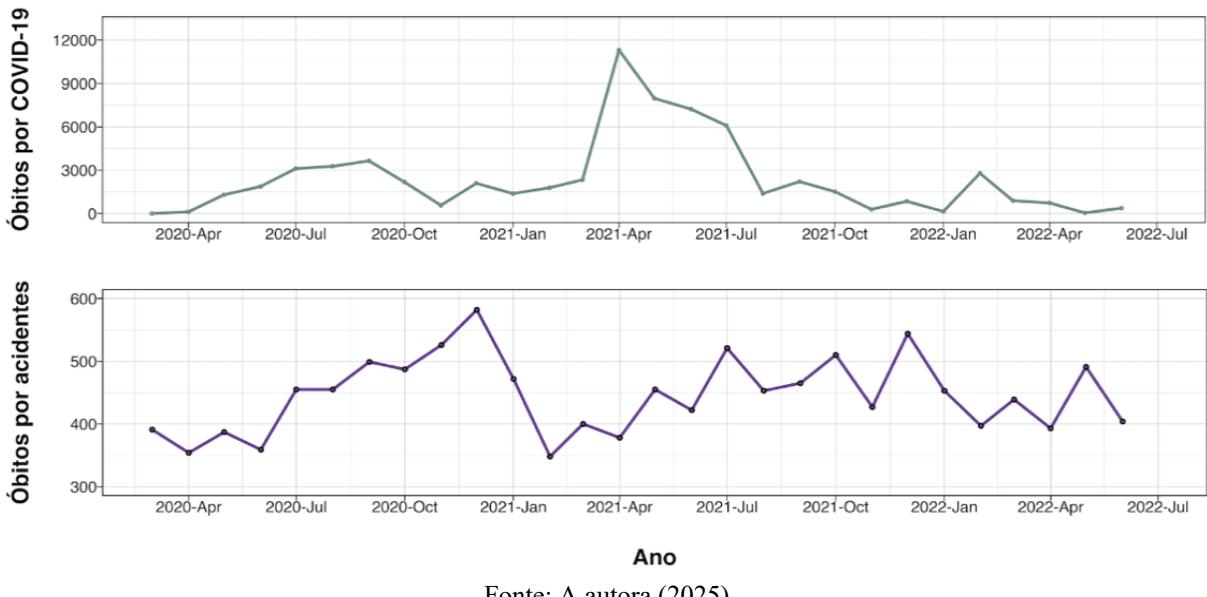
4.3 EVOLUÇÃO DE ÓBITOS POR COVID-19 EM RELAÇÃO AOS ÓBITOS POR SINISTROS

O Gráfico 5 traz informações do comportamento das mortes por sinistros nas rodovias federais do Brasil e mortes por Covid-19. Entre abril e setembro de 2020, ocorreu a primeira onda de mortes causadas por Covid-19 no país. É possível analisar que as mortes por sinistros nas rodovias federais acompanharam esse crescimento. A segunda onda da pandemia ocorreu entre janeiro e junho de 2021, onde houve uma nova crescente de mortes por Covid-19. Nesse período, é possível verificar que os óbitos por sinistros também aumentaram.

A partir dessa observação, é possível deduzir que o aumento de mortes por covid, possui uma associação positiva com as mortes por sinistros rodoviários. A partir de agosto de 2021 até o final do período analisado, a pandemia entra em um estado de redução de mortes, com um pequeno pico em fevereiro de 2022. Entretanto, com estabilização dos números, abaixo dos períodos anteriores. Da mesma forma, os óbitos por sinistros nas rodovias estabilizam, apenas apresentando variações sazonais, comuns para essa variável.

Apesar da aparente correlação ilustrada visualmente no gráfico, o teste de correlação de Pearson trouxe o valor de $r = 0,1038$ indicando uma fraca correlação que é confirmada pelo p -valor = 0,6138 indicando que a correlação não é estatisticamente significante.

Gráfico 5 - Evolução dos óbitos por Covid-19 x Evolução dos Óbitos por Sinistro



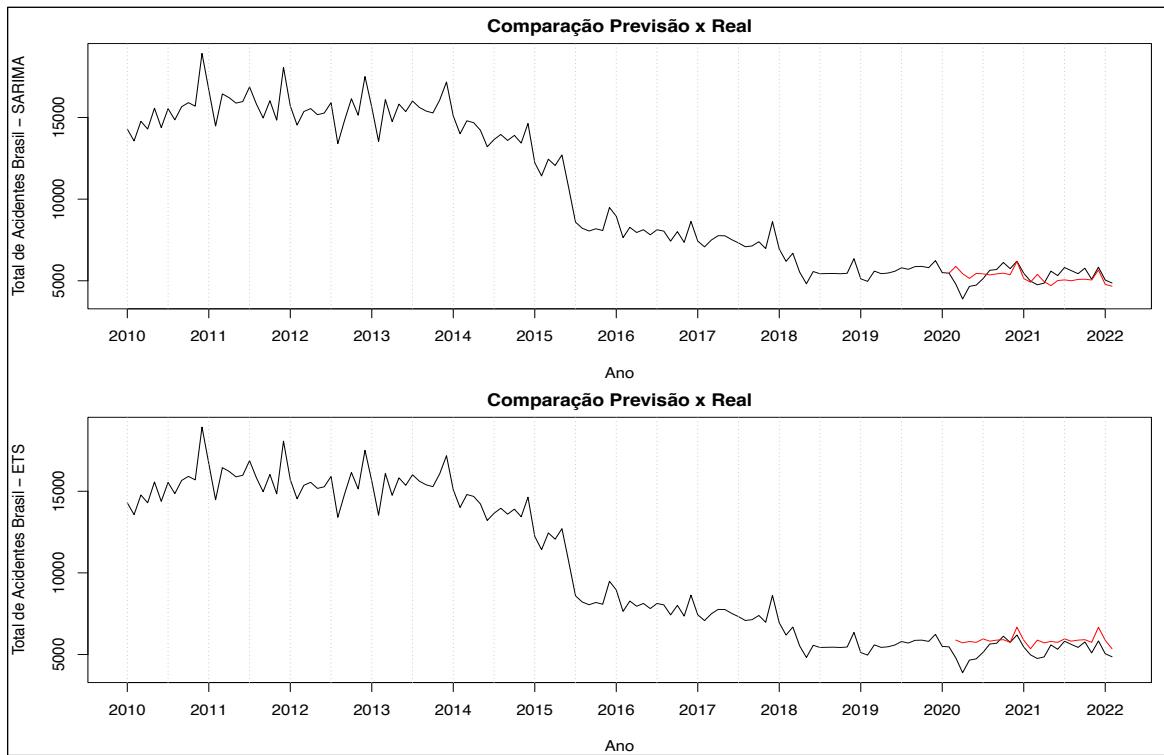
Fonte: A autora (2025)

4.4 SINISTROS TOTAIS BRASIL

Neste tópico, são apresentados os resultados a nível de Brasil sobre os sinistros totais, ilustrando-os por gráficos comparativos entre os modelos SARIMA e ETS, bem como os dados de precisão do modelo, que serão considerados como referência, o MAPE.

Como é possível analisar nos gráficos, os dados reais no mês de março de 2020 ilustram uma queda brusca na quantidade de sinistros, que pode ser justificada pelo início da pandemia, quando foram impostas as medidas de isolamento, e consequentemente, houve redução significativa de veículos nas rodovias federais. Tanto com o modelo SARIMA quanto com o modelo ETS, é possível observar na linha de previsão (linha vermelha), que na eventualidade da não ocorrência da pandemia, ocorreria estabilidade na quantidade de sinistros, seguindo a tendência dos anos anteriores, considerando o ano de 2020 e 2021, e ainda nesses anos, um pico no mês de dezembro, quando, os dados reais seguem a previsão.

Gráfico 6 - Total de Sinistros no Brasil SARIMA e ETS



Fonte: A autora (2025)

Ao analisar a Tabela 4, que possui os dados de resíduos para precisão do modelo, é possível verificar que os dois modelos são satisfatórios, visto que possuem MAPE inferior a 10% caracterizando a precisão como excelente. Entretanto, o MAPE de 3,97% do modelo ETS, indica que a precisão é ainda mais favorável.

Tabela 4 - Métricas de Desempenho para Sinistros Totais Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-271.97	57.08737	585.3727	463.3459	0.07096433	9,19	0.5904818
ETS	2162.7	-109.1531	614.5542	420.6661	-1.311052	3.97	0.002478624

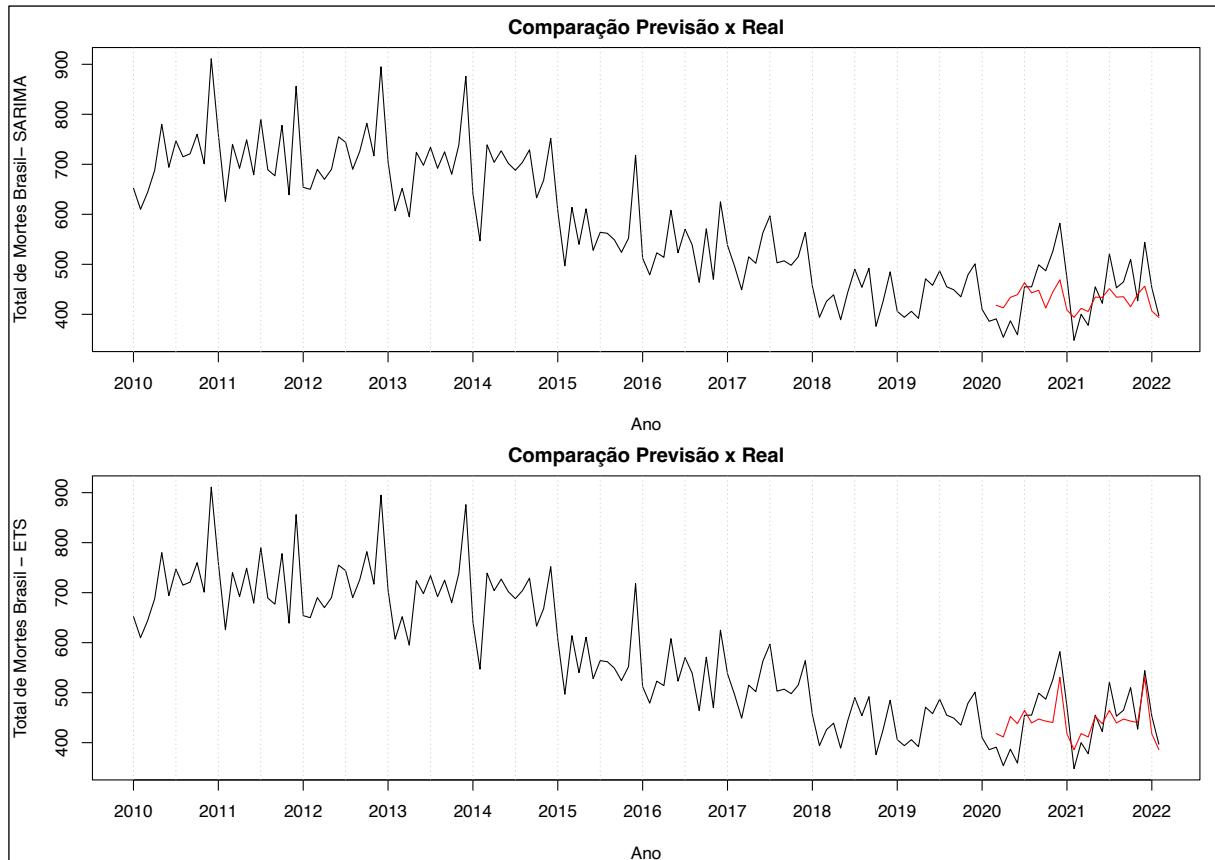
Fonte: A autora (2025)

4.5 MORTES POR SINISTRO E FERIDOS GRAVES NO BRASIL

O Gráfico 7, abaixo, apresenta os dados reais de mortes por sinistro e sua previsão sobreposta. Nele é possível analisar, que tanto para o modelo SARIMA, quanto para o ETS, as previsões estão abaixo do real número de mortes no período de 03/2020 a 02/2022, considerando que a previsão foi gerada para dois anos. Observa-se, que os valores reais nesse período, não seguem a tendência dos anos anteriores, apresentando destaque na alta de mortes, destoando do que se esperava nas previsões. Além disso, após a queda acentuada de mortes no

mês de março, quando a pandemia passou a ter maior impacto, o número de mortes cresceu acentuadamente.

Gráfico 7 - Total de Mortes no Brasil



Fonte: A autora (2025)

A Tabela 5, com métricas de precisão, ilustra valores de MAPE, dentro do intervalo de excelência para os dois modelos, porém, o modelo ETS ainda demonstra precisão maior que o SARIMA, gerando maior confiabilidade na previsão da série temporal, constatação essa que é possível observar no Gráfico 7.

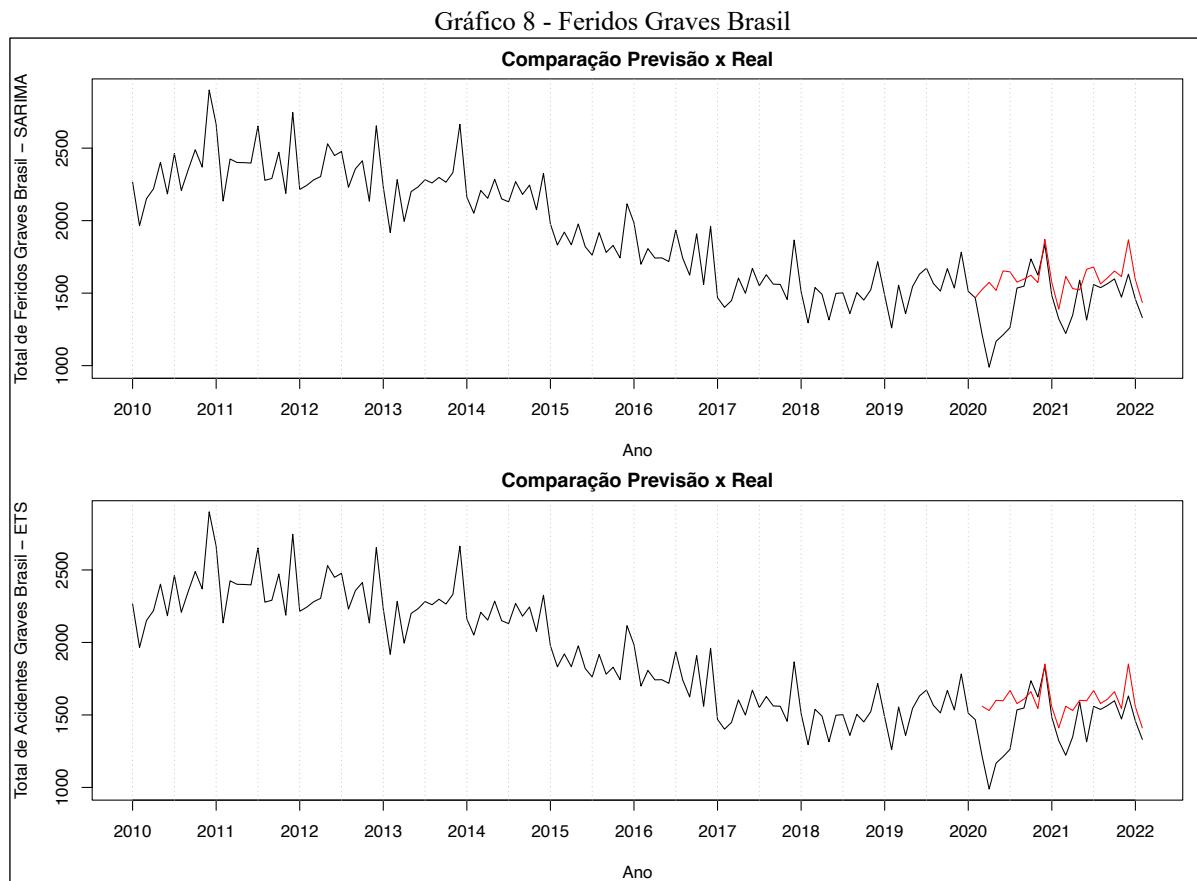
Tabela 5 - Métricas de desempenho para Mortes Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-243.58	18.06925	55.25478	45.75624	2.554656	9.99	-0.01047844
ETS	1514.167	-8.554526	39.51952	31.42664	-1.938031	5.44	-0.0896573

Fonte: A autora (2025)

No Gráfico 8, que demonstra o comportamento dos sinistros com feridos graves nas rodovias brasileiras, é notória queda acentuada no mês de março de 2020, convergindo com o início da primeira onda da pandemia. Logo depois, há uma forte elevação no número de feridos, que assim como nos meses seguintes, está de acordo com os períodos anteriores. É possível

inferir também, que as previsões realizadas pelos dois modelos, não revelam grandes diferenças do que aconteceu na realidade.



Para a análise do MAPE (Tabela 6), o SARIMA ficou acima de 10%, indicando uma boa precisão, porém, o ETS apresentou um valor de MAPE de 4,35%, confirmando que sua precisão está no intervalo considerado excelente e que se destaca na análise de feridos graves no Brasil.

Tabela 6 - Métricas de Desempenho para Feridos Graves Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-285.38	-162.8973	239.686	182.1743	-13.15779	14.31477	0.4596277
ETS	1746.564	-16.7687	101.4743	82.46545	-1.096964	4.352932	0.5134835

Fonte: A autora (2025)

4.6 SINISTROS E MORTES PELAS PRINCIPAIS CAUSAS BRASIL

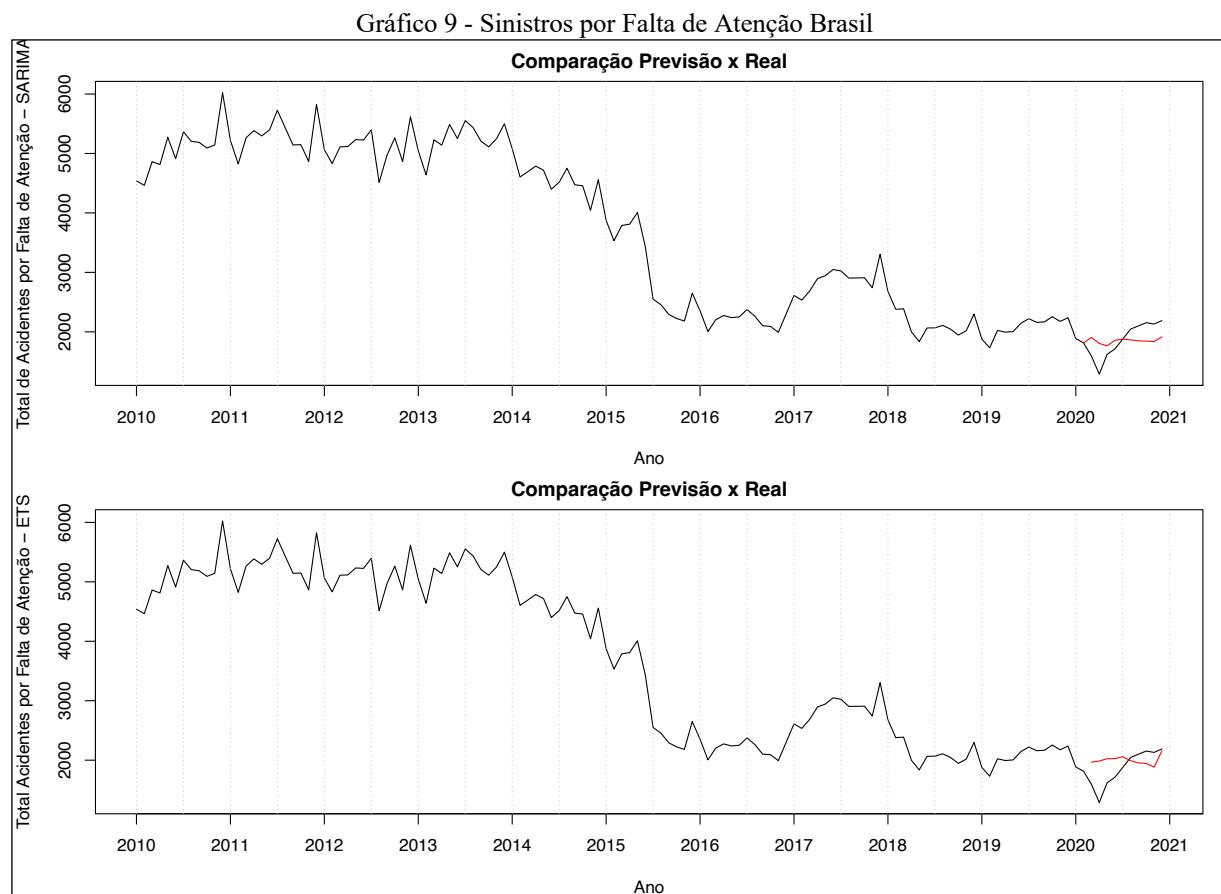
4.6.1 Falta de Atenção

As previsões de sinistros totais pela causa “falta de atenção”, foram realizadas para 10 meses, considerando que os dados da PRF estão disponíveis até dezembro de 2020.

Além disso, é importante frisar que as previsões para as duas principais causas de sinistros somente foram possíveis para o nível de Brasil e ainda assim, a autocorrelação não se apresenta forte, significando que os valores passados, não detém forte capacidade de prever valores futuros.

Dessa forma, não foi possível prever as séries temporais para cada região, considerando que os valores são muito baixos e não possuem autocorrelação, que representa, um dos pré-requisitos, para que se tenha uma previsão com nível de confiabilidade aceitável.

Dito isso, o Gráfico 9 ilustra os dados reais e de previsão para os sinistros por falta de atenção. Nele pode-se notar, que após o mês de março, houve uma crescente nos sinistros por essa causa, divergindo da estabilidade dos anos anteriores e ainda, da previsão para o período estudado. Isso demonstra que, em uma eventual não ocorrência da pandemia, haveria uma leve queda e nos meses seguintes, haveria estabilidade nos sinistros por essa causa.



Fonte: A autora (2025)

A análise de precisão para esta variável indica que o valor de MAPE, para o modelo ETS possui excelente comportamento e desta forma possui maior nível de confiabilidade na previsão para o período.

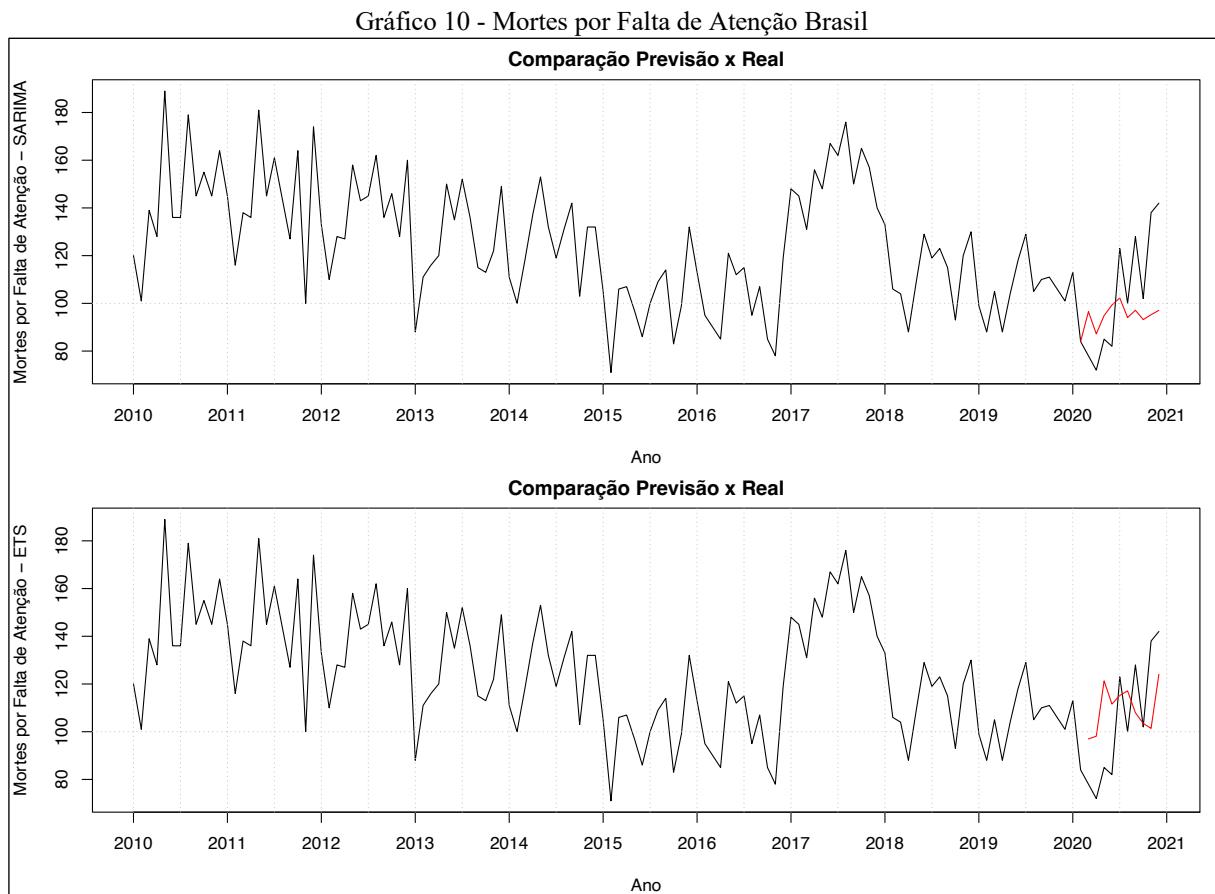
Tabela 7 - Métricas de Desempenho para Falta de Atenção Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-271.3	18.84861	275.9139	243.0896	-1.579615	13.8789	0.7235692
ETS	1931.736	-29.23934	220.179	150.1151	-1.01629	4.30016	-0.1366025

Fonte: A autora (2025)

Seguindo a análise para a causa de “falta de atenção”, o Gráfico 10 revela informações sobre as mortes nas rodovias federais, que dão continuidade ao mesmo comportamento desses sinistros, com uma queda brusca no início da pandemia, porém, logo depois, um forte aumento na quantidade de mortes com alguns picos. Esse resultado diverge do que foi previsto para o período, em que se esperava a mesma tendência dos anos anteriores.

Sendo assim, é possível observar a possibilidade de o período crítico pandêmico, ter contribuído para o comportamento dos sinistros com mortes por falta de atenção. Essas análises corroboram com os resultados do estudo de sinistros nas rodovias em Ohio (EUA), onde foi constatada a relação direta entre a redução do volume de tráfego, altas velocidades, gravidade dos sinistros e sinistros fatais, além do comportamento arriscado dos motoristas (Stiles *et al.*, 2023).



Fonte: A autora (2025)

Quanto aos dados de precisão, foi possível verificar que o modelo SARIMA é uma boa referência, porém, o modelo ETS apresenta uma precisão considerada excelente, que se adequa melhor ao comportamento dos dados estudados.

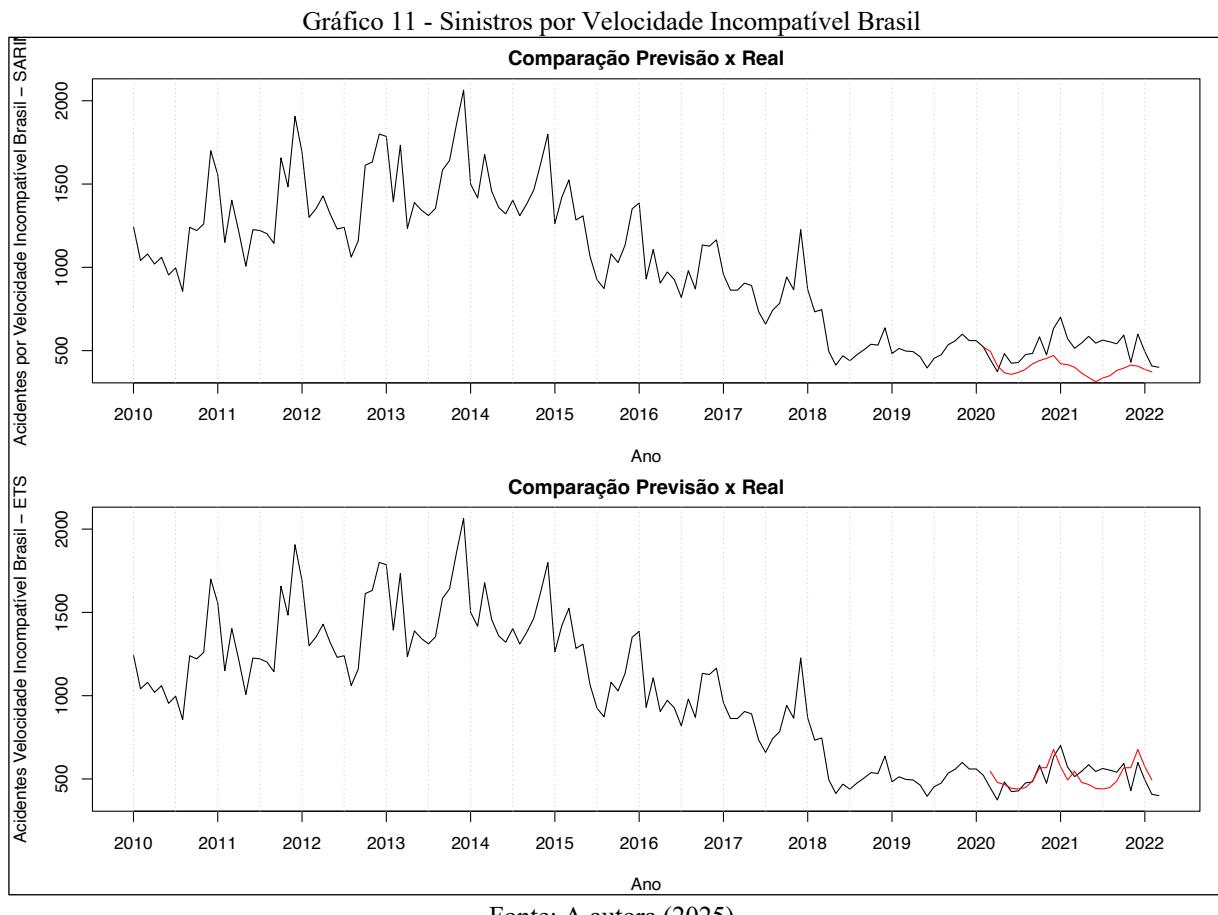
Tabela 8 - Métricas de Desempenho para Mortes por Falta de Atenção Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1071.4	-0.0680528	19.26678	14.95551	4.060524	19.58641	-0.0056680
ETS	1304.615	-0.833798	16.80742	12.82153	-2.236061	10.76413	-0.0487827

Fonte: A autora (2025)

4.6.2 Velocidade Incompatível

O Gráfico 11 ilustra o comportamento dos dados de sinistros por velocidade incompatível. Nele é possível observar que no período de análise, apesar da pandemia, a quantidade de sinistros por velocidade incompatível, obteve uma leve queda em março de 2020 e depois, houve uma elevação com alguns picos, mas no geral, seguindo a tendência dos anos anteriores, corroborando com a previsão do modelo ETS, que segue muito próxima dos acontecimentos reais.



As divergências nas imagens dos gráficos para cada modelo, quando a linha de previsão é observada, podem ser confirmadas através dos valores de MAPE (Tabela 9), onde percebe-se o valor para SARIMA acima de 20% e para ETS 8,75%. Essa comparação demonstra que, o modelo ETS possui nesse caso, maior precisão na previsão.

Tabela 9 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1562.14	-10.63602	141.7536	108.303	22.19864	23.91874	-0.0227739
ETS	1755.609	-14.19061	114.5627	90.0976	-2.73469	8.752145	-0.0472342

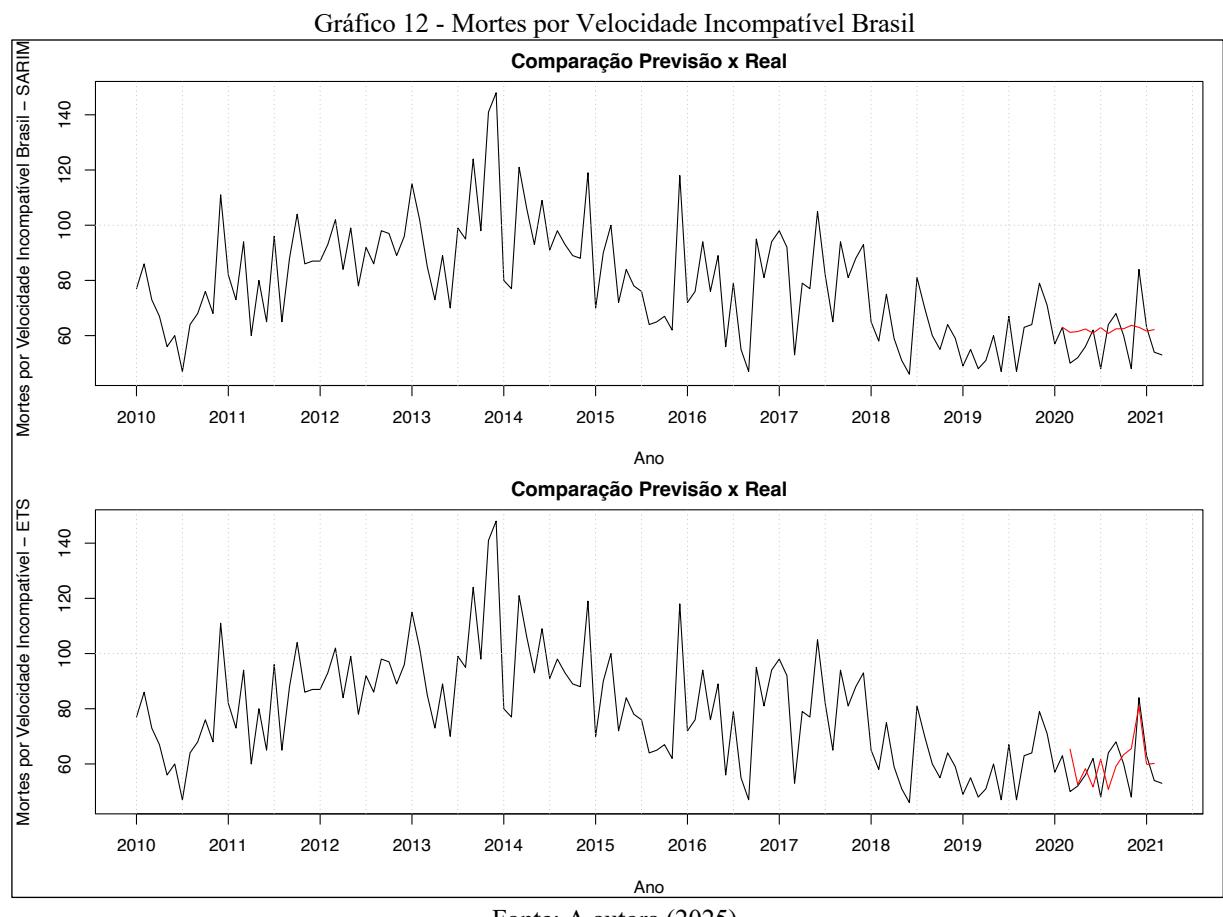
Fonte: A autora (2025)

Para a série temporal de mortes por velocidade incompatível (Gráfico 12) ficou definida a previsão para 12 meses, visto que os valores são baixos e quanto maior o tempo de previsão, menor a precisão do modelo.

Outra particularidade desta previsão foi a busca pelo melhor modelo que encontrou um modelo não compatível com SARIMA e nesse caso, foi escolhido o segundo melhor modelo e

esta pode ser a causa da previsão ter uma linha de estabilidade e não acompanhar minimamente o comportamento dos dados reais. Quanto ao comportamento dos dados reais, a queda no mês de março não aconteceu de forma acentuada, como nas análises anteriores e a partir daí, o comportamento das mortes, seguiu semelhante ao ocorrido nos anos anteriores.

O comportamento das fatalidades para essa causa, corrobora com o estudo de Fondzenyuy *et al.* (2024), que demonstra que o excesso de velocidade contribui para 54% dos óbitos no mundo e 57% em países de baixa renda. A cada 49 segundos acontece uma morte causada por excesso de velocidade, com 95% de probabilidade de ser em um país de baixa renda, enfatizando a maior necessidade de melhorias na segurança do trânsito nesse contexto.



Para o MAPE, apesar de SARIMA e ETS terem valores parecidos, visualmente a previsão gerada pelo ETS segue um padrão mais próximo dos dados reais, mas não é considerada excelente.

Tabela 10 - Métricas de Desempenho Mortos por Velocidade Incompatível Brasil

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-38.06	-0.0024019	0.1992149	0.1597283	-7.748891	14.77021	0.02111684
ETS	1252.435	-0.653236	14.11099	11.33119	-3.609872	14.73107	0.000237348

Fonte: A autora (2025)

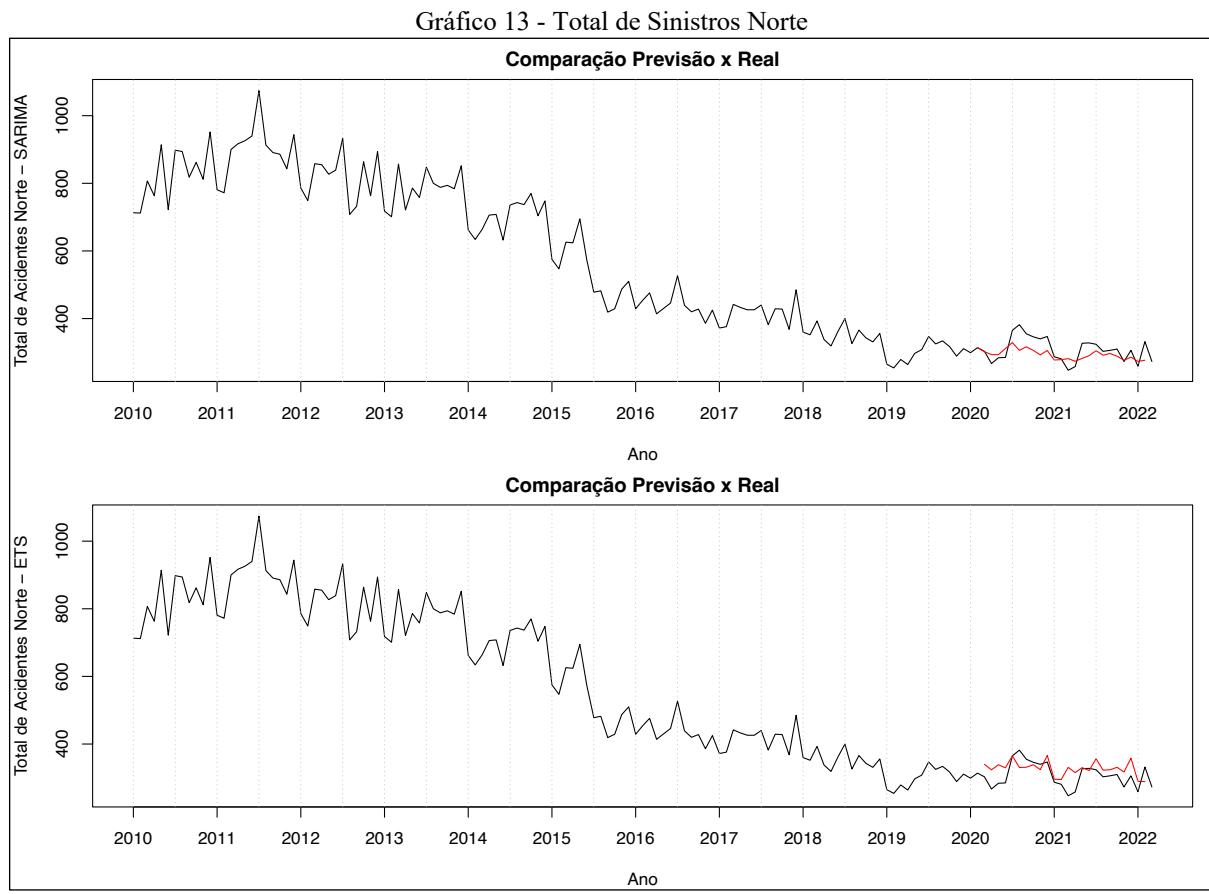
4.7 SINISTROS, MORTES, FERIDOS GRAVES E CAUSAS DE SINISTROS POR REGIÃO

Nos subtópicos a seguir, serão analisados os gráficos de comparação entre os dados reais de sinistros e a previsão para o período da pandemia nas variáveis: sinistros, mortes, feridos graves, sinistros por falta de atenção e sinistros por velocidade incompatível por região. As variáveis “mortes por falta de atenção” e “mortes por velocidade incompatível” não foram utilizadas, visto que os valores são muito baixos e não possuem autocorrelação, característica essa imprescindível para que se faça previsões por séries temporais.

Além disso, é importante registrar que para as variáveis: sinistros, mortes e feridos graves, as previsões foram realizadas para dois anos. Para a variável, sinistros por falta de atenção, devido a disponibilidade dos dados na base da PRF, a previsão foi realizada para dez meses e, por fim, para a variável velocidade incompatível, a previsão foi modelada para um ano, na busca de se manter um padrão próximo à falta de atenção, mesmo com a disponibilidade de dados.

4.7.1 Região Norte

Na região Norte, apesar do início do primeiro pico da pandemia no mês de março de 2020, não houve uma forte queda na quantidade de sinistros. Nos meses seguintes de 2020, houve aumento nessa quantidade ultrapassando o padrão ocorrido no mesmo período do ano anterior. Nos primeiros meses de 2021, ocorreu uma queda mais acentuada nos sinistros, seguida de um aumento, que se manteve estável no restante do ano. É perceptível na previsão, que a queda nos primeiros meses de 2021, não era esperada e pode ter ocorrido devido à segunda onda de Covid-19, com forte tendência de mortes em vários estados brasileiros, incluindo o Acre, Amapá, Amazonas e Rondônia, que fazem parte da região Norte, ocasionando uma nova escalada nas restrições estaduais para contenção da contaminação (Martins; Guimarães, 2022).



Fonte: A autora (2025)

Na análise da precisão do modelo, é possível observar o MAPE abaixo de 10% tanto para SARIMA quanto para ETS indicando excelência. Porém, o ETS ainda possui melhor precisão na comparação, demonstrando que os dados se ajustam melhor a esse modelo.

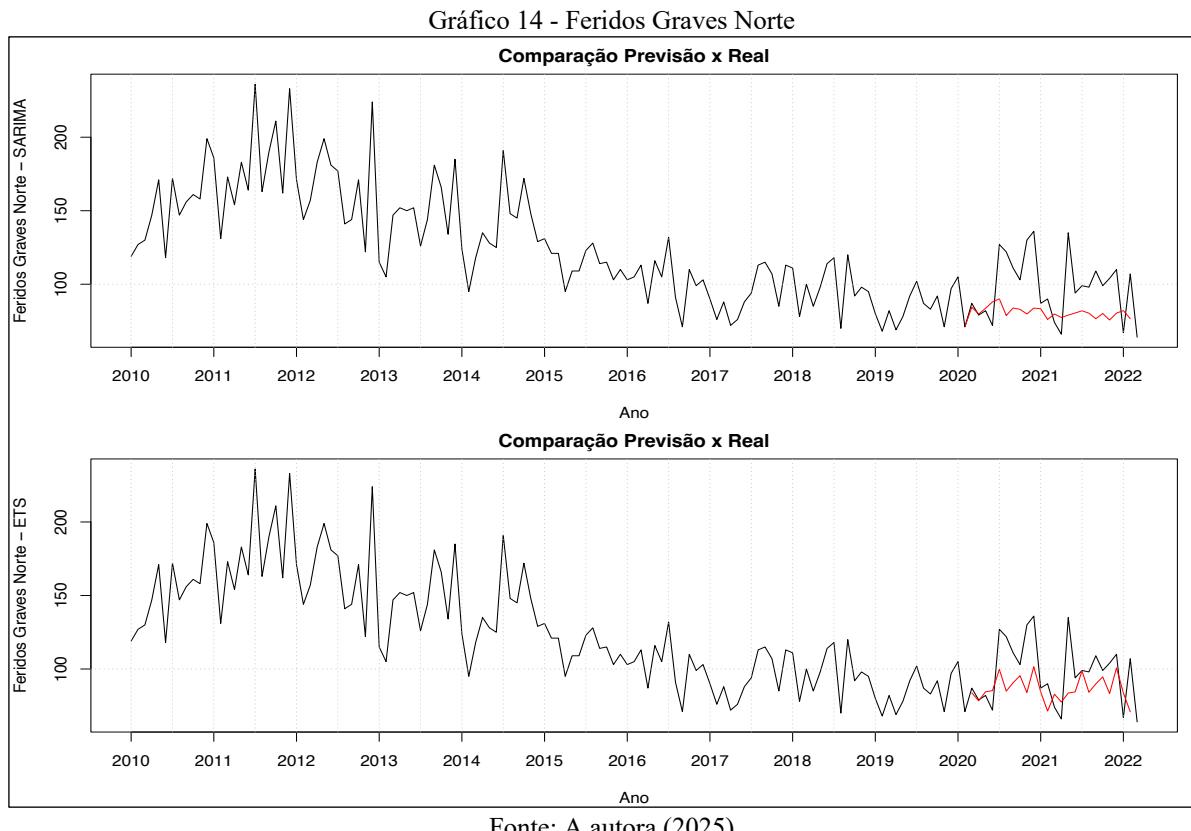
Tabela 11 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Norte

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-235.29	-0.001298519	0.08447406	0.06663083	4.219054	8.325418	-0.01163877
ETS	1529.348	-6.566372	44.20383	32.94588	-1.385063	5.925644	-0.0207095

Fonte: A autora (2025)

Em relação aos feridos graves, o Gráfico 14 possui um comportamento de destaque, demonstrando que apesar da leve redução no início da pandemia, os números de feridos graves cresceram exponencialmente, divergindo totalmente da tendência nos anos anteriores. O gráfico demonstra uma segunda queda no início de 2021, em mais uma onda de Covid-19, seguida de um pico de feridos graves nas rodovias nortistas.

É possível analisar também, que as previsões para os dois modelos testados mostram que o número de feridos graves seria bem menor que o acontecido na realidade.



Apesar dos valores de MAPE estarem acima de 10% na Tabela 12, o modelo ETS ainda indica melhor precisão e consequentemente adequação aos dados, quando comparado ao modelo SARIMA.

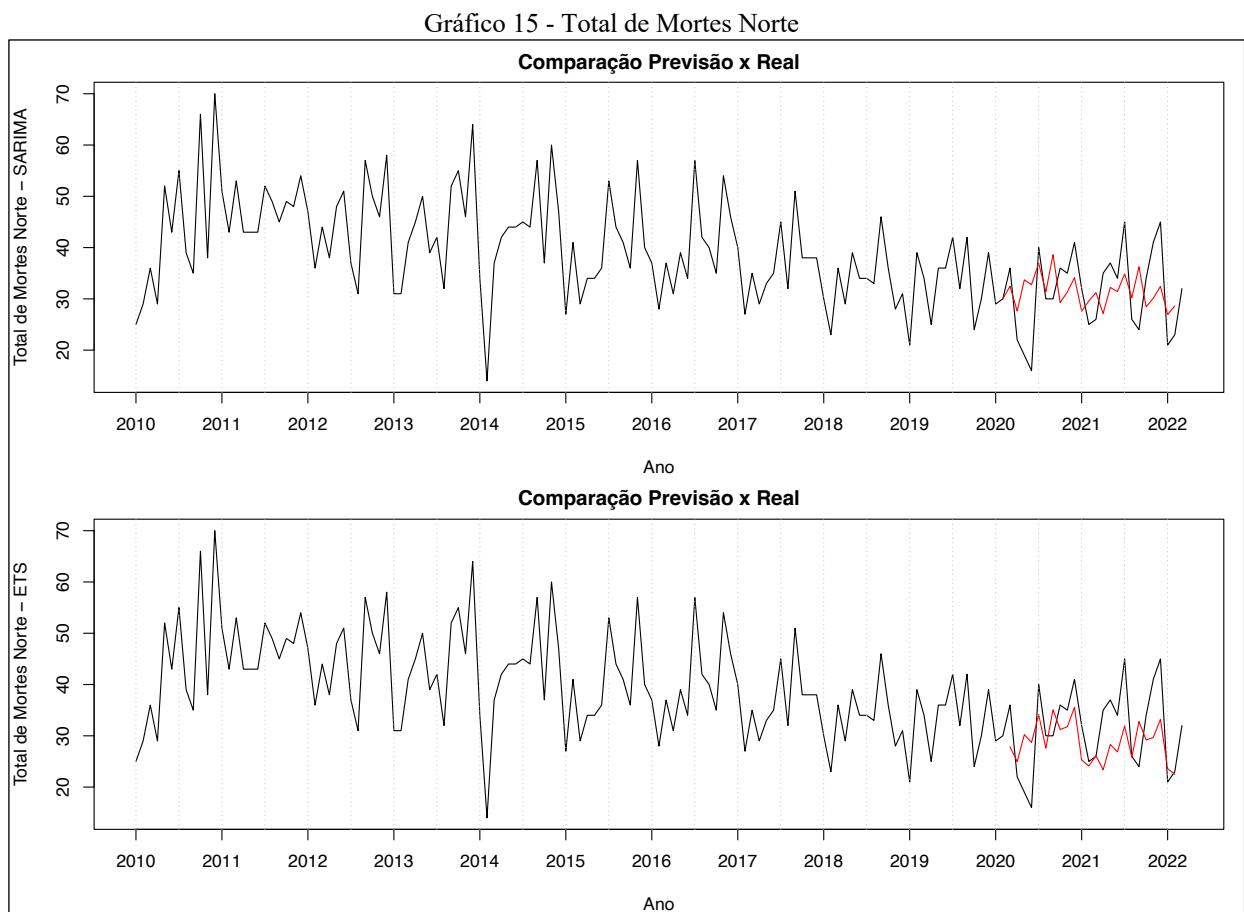
Tabela 12 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Norte

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-83.45	-0.001051179	0.1627743	0.1313578	13.49424	18.5584	.006054476
ETS	1307.770	-2.306356	17.99315	13.79655	-3.327779	11.18015	-0.0473873

Fonte: A autora (2025)

O próximo Gráfico analisado, é o de total de mortes (Gráfico 15), indicando que nos dois anos de previsão realizadas comparadas ao que de fato aconteceu, após a queda acentuada no mês de março, a quantidade de mortes voltou a subir, seguindo a tendência dos anos anteriores. Demonstra-se que apesar das restrições de isolamento, que ocorreram na região devido a pandemia, os sinistros rodoviários com mortes mantiveram o ritmo.

As previsões ilustram, que neste período, aconteceria uma redução na quantidade de mortes, que na prática não ocorreu.



Fonte: A autora (2025)

Na Tabela 13, o MAPE da variável “mortes” pode ter permanecido com valor alto, devido à autocorrelação não ser elevada, porém, o suficiente para se gerar uma previsão. Dessa forma, a precisão do modelo se torna aceitável, mas ilustra, que em alguns momentos, há uma dificuldade dos dados em preverem o futuro com base nos dados passados.

Ainda assim, o ETS é modelo que se adequa melhor ao comportamento dos dados de referência para previsão da série temporal com base nos dados analisados.

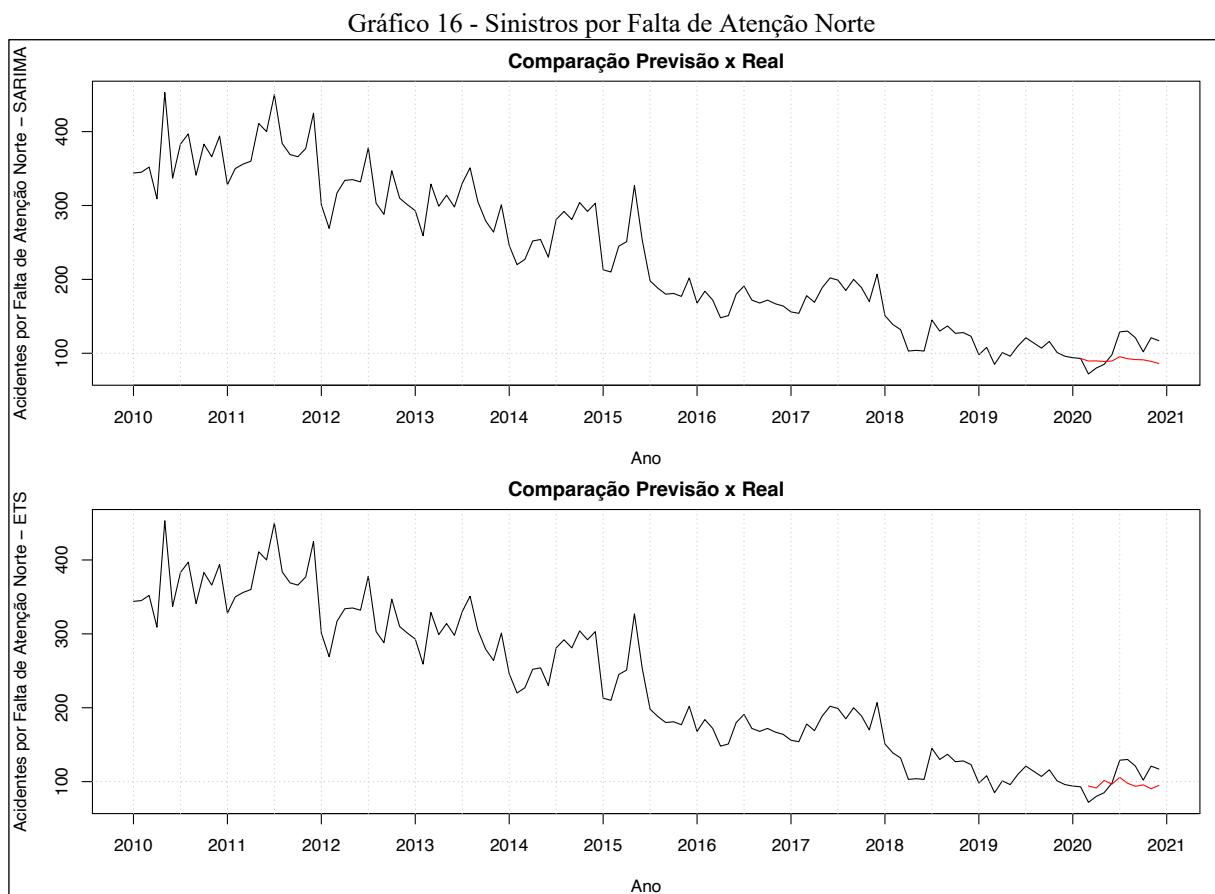
Tabela 13 - Métricas de Desempenho Mortes Norte

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	860.04	1.094842	7.850147	6.126216	-7.752496	25.54161	0.03134804
ETS	1097.140	-0.510408	7.241641	5.673614	-4.838312	15.59723	-0.0349622

Fonte: A autora (2025)

Os sinistros por “falta de atenção” ilustrados no Gráfico 16, foram analisados para dez meses conforme explicado anteriormente. Na comparação entre a previsão e os dados reais, é possível verificar, que para o modelo SARIMA, a previsão segue uma linha de estabilidade que

pode ser explicada pelo valor de MAPE na Tabela 14 (19,22%). Esse resultado indica que o SARIMA, não seria o melhor modelo para adequação aos dados. Para o modelo ETS, percebe-se uma variação levemente maior, porém, para os dois modelos fica destacado que o número de sinistros, após a queda no mês de março, possui uma forte subida contrariamente ao que ocorreu nos últimos dois anos.



Fonte: A autora (2025)

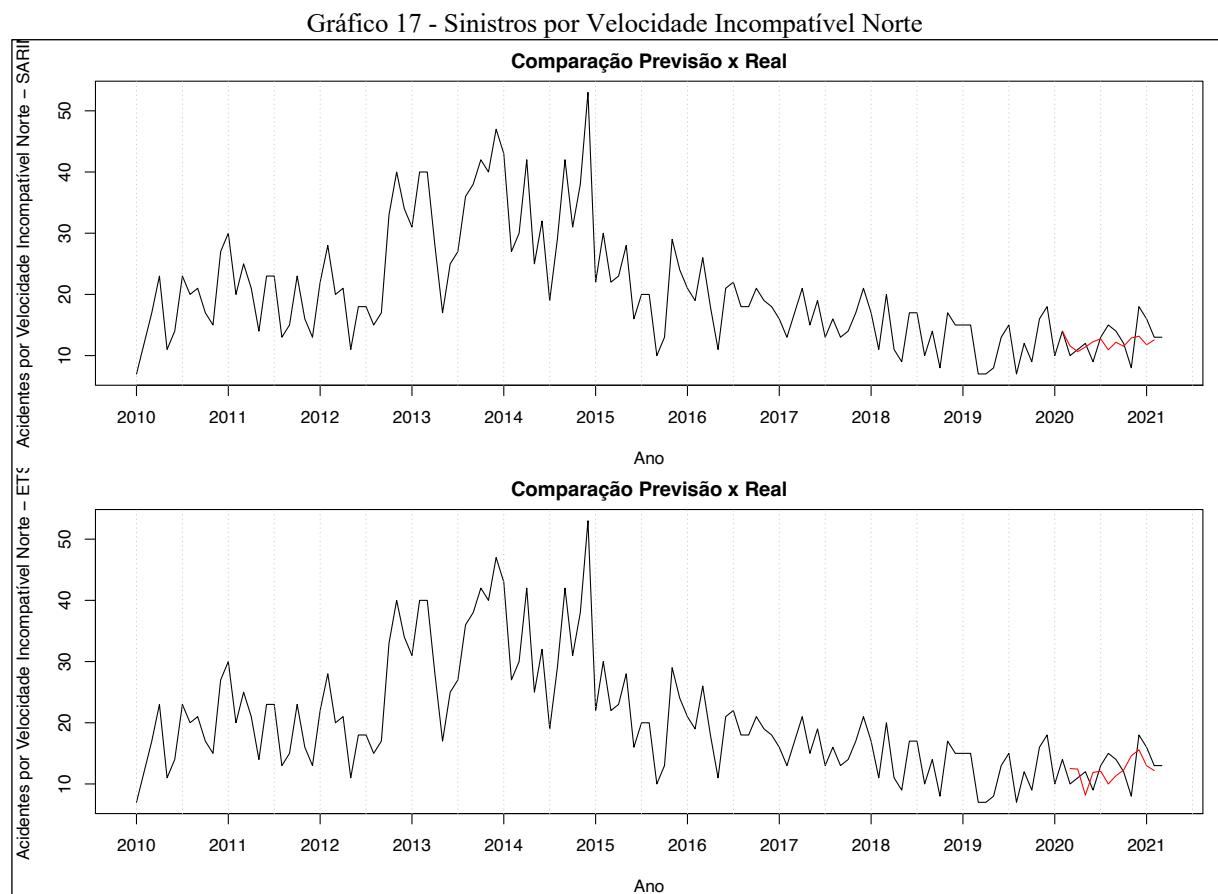
Nas métricas de desempenho, o MAPE se adequa melhor ao modelo ETS, dentro dos valores de referência condizentes com uma precisão excelente. Ao contrário do SARIMA, o ETS apresenta melhor adequação aos dados na série de treinamento.

Tabela 14 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Norte

	AIC	ME	RMSD	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-164.06	15.14727	24.43566	21.36614	11.01943	19.22226	0.5835883
ETS	1379.919	-3.392637	24.89209	18.97977	-2.115191	8.537099	0.02066141

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 17 demonstra que para os sinistros por velocidade incompatível, o período da pandemia não causou nenhum impacto significativo, mesmo considerando as fases de restrições pelas autoridades sanitárias. Como exemplo, é possível analisar que no mês de julho de 2020, a previsão indicava números bem abaixo do que de fato ocorreu. Ou seja, o comportamento dos dados reais seguiu a tendência dos últimos anos.



Para este caso, da variável “velocidade incompatível”, o MAPE (Tabela 15) revela valor alto para os dois modelos testados e isto pode ocorrer por algumas características da série temporal, como por exemplo, os valores reais muito baixos ou ainda a alta variabilidade na série para essa variável (*outliers*).

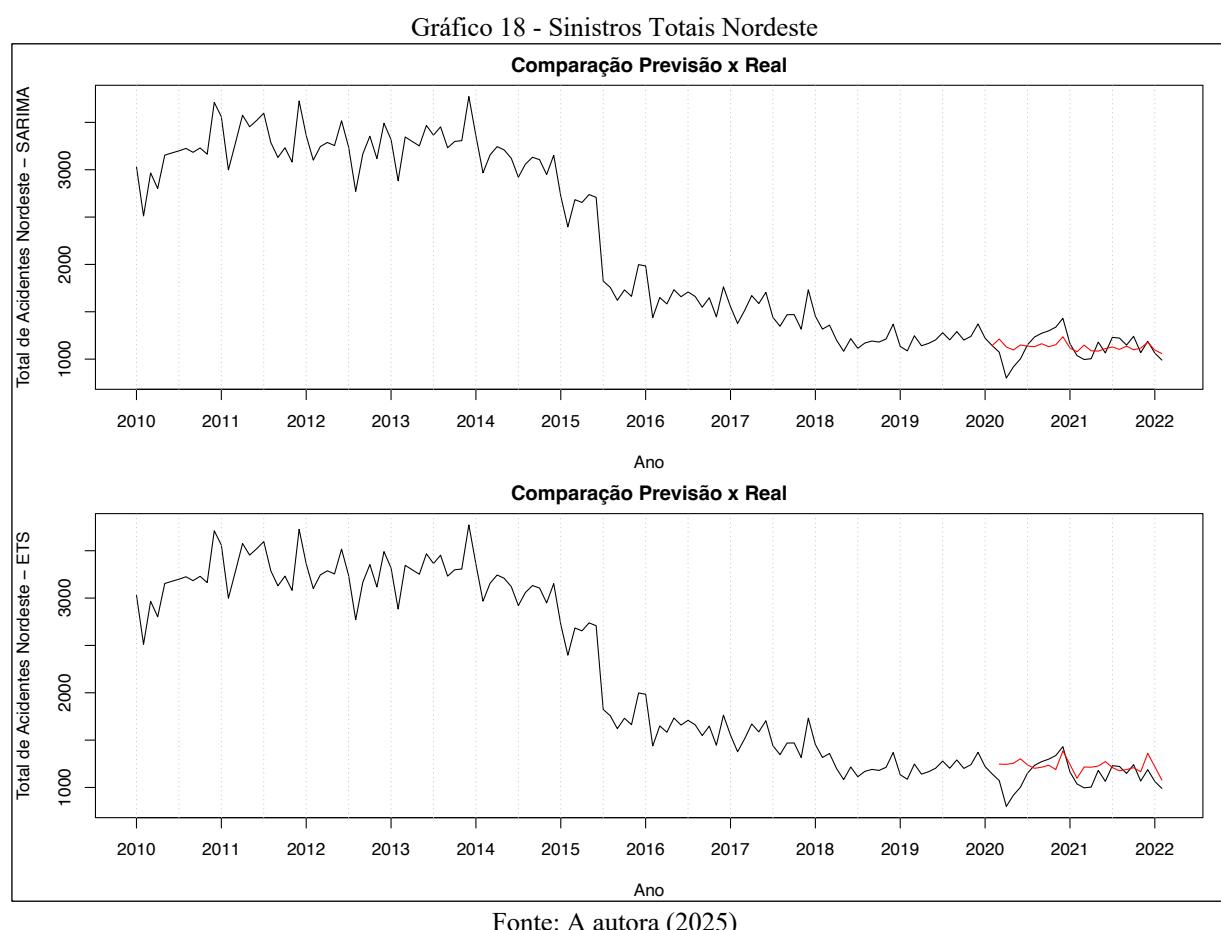
Tabela 15 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Norte

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	72.1	0.006198463	0.3086094	0.2523605	-0.1878657	18.63032	0.009099931
ETS	1025.094	-0.3077963	5.991854	4.573076	-9.552066	25.32712	0.109898

Fonte: A autora (2025)

4.7.2 Região Nordeste

Na análise do Gráfico 18 de sinistros totais, considerando a previsão feita para dois anos, fica evidente a redução acentuada de sinistros no início da pandemia, seguida de uma crescente, até chegar a um pico no mês de dezembro de 2020, que difere bastante dos anos anteriores. Para o ano de 2021, o comportamento dos dados reais, segue a tendência dos anos anteriores. Quando comparado à previsão, essa seguiria o comportamento dos anos anteriores, porém, fica perceptível, que os dados reais em alguns meses, ficam abaixo ou acima dos valores de previsão. Sendo assim, o possível impacto do período pandêmico é visto apenas, no início da primeira onda de Covid-19, com a redução do tráfego, devido as restrições e acompanhado da redução dos sinistros.



As métricas de desempenho ilustram valores de MAPE satisfatórios para os dois modelos testados, indicando que os dados se adequam bem tanto para SARIMA quanto para ETS.

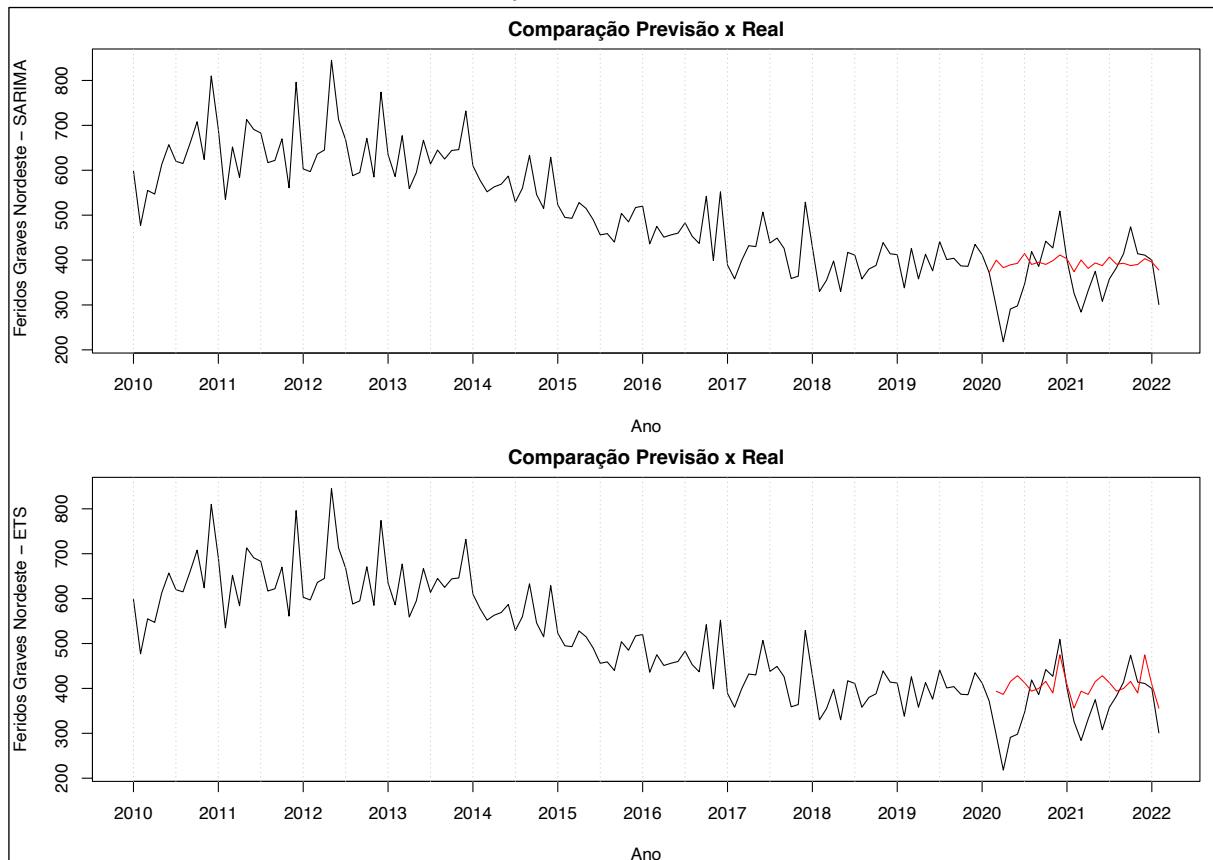
Tabela 16 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Nordeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-258.81	1.629852	129.4662	106.9341	-1.343898	9.852255	0.609527
ETS	1825.691	-18.2496	146.4913	107.5447	-0.9454742	4.924054	0.0256413

Fonte: A autora (2025)

A comparação para feridos graves (Gráfico 19) demonstra que o comportamento dos dados para o período analisado possui melhor adequação ao modelo ETS, conforme os valores de MAPE na Tabela 17. Sendo assim, enquanto a previsão demonstra a continuidade da tendência vista nos anos anteriores, os dados reais possuem picos acima e abaixo da previsão. Isso acontece, em especial, no mês de início das restrições devido a pandemia em março de 2020 e no primeiro semestre de 2021, quando ocorreu a segunda onda de Covid-19.

Gráfico 19 - Feridos Graves Nordeste



Fonte: A autora (2025)

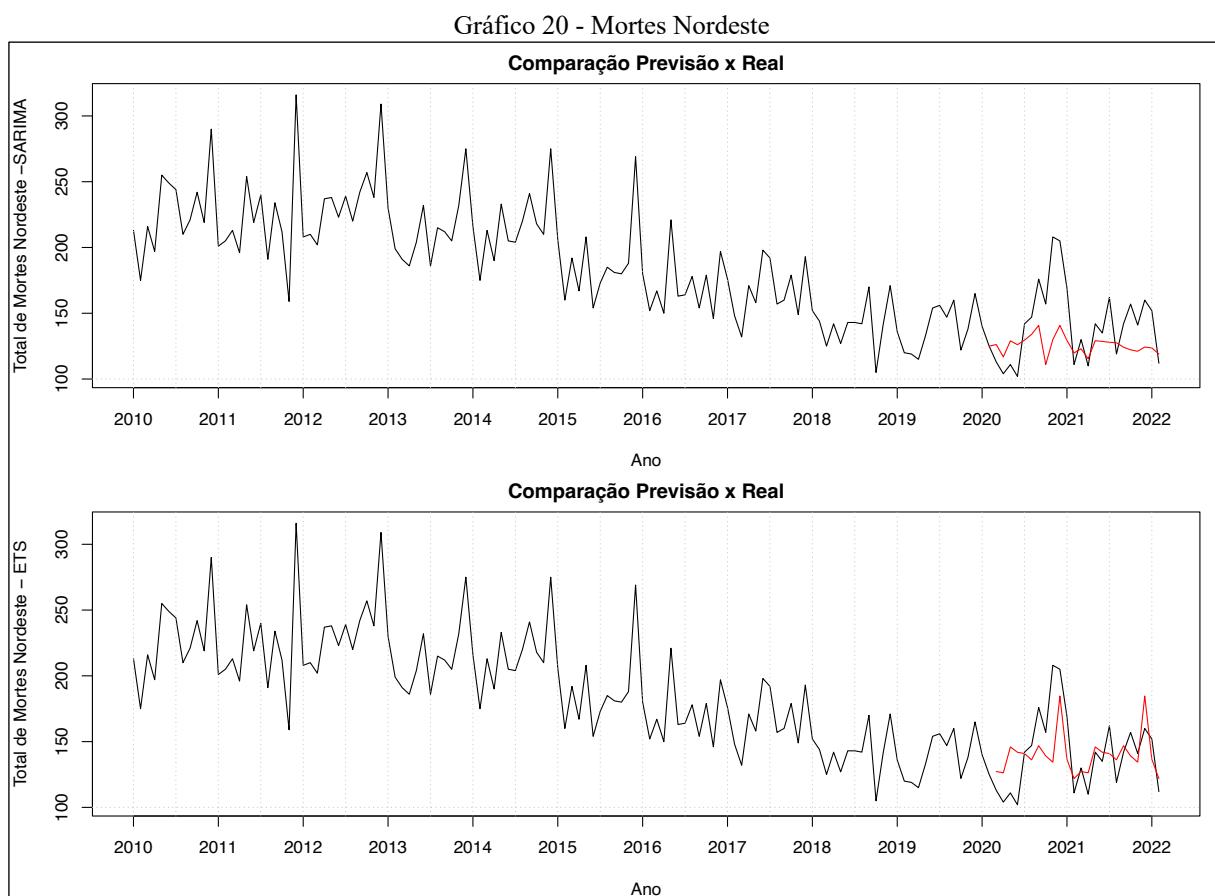
Na análise das métricas, fica perceptível que os valores de MAPE para o modelo ETS demonstram melhor adequação aos dados do período analisado, indicando maior confiabilidade.

Tabela 17 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Nordeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-211.2	-26.55565	69.84831	55.73283	-11.05037	17.42529	0.5921365
ETS	1527.589	-5.355854	42.52339	34.70705	-1.613164	6.752451	-0.08446145

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 20 será analisado a partir do modelo ETS, visto que o valor de MAPE possui maior confiabilidade. O modelo previu uma continuidade na tendência de queda ocorrida nos anos anteriores, mas os dados reais mostram um comportamento diferente e com picos inesperados. Considerando o período pandêmico, o que antes era uma tendência de queda passou a apresentar uma oscilação atípica. Após o pico em novembro e dezembro de 2020, os dados mostram uma tendência mais próxima aos anos anteriores de redução de mortes, podendo ser reflexo do início da vacinação no país.



Fonte: A autora (2025)

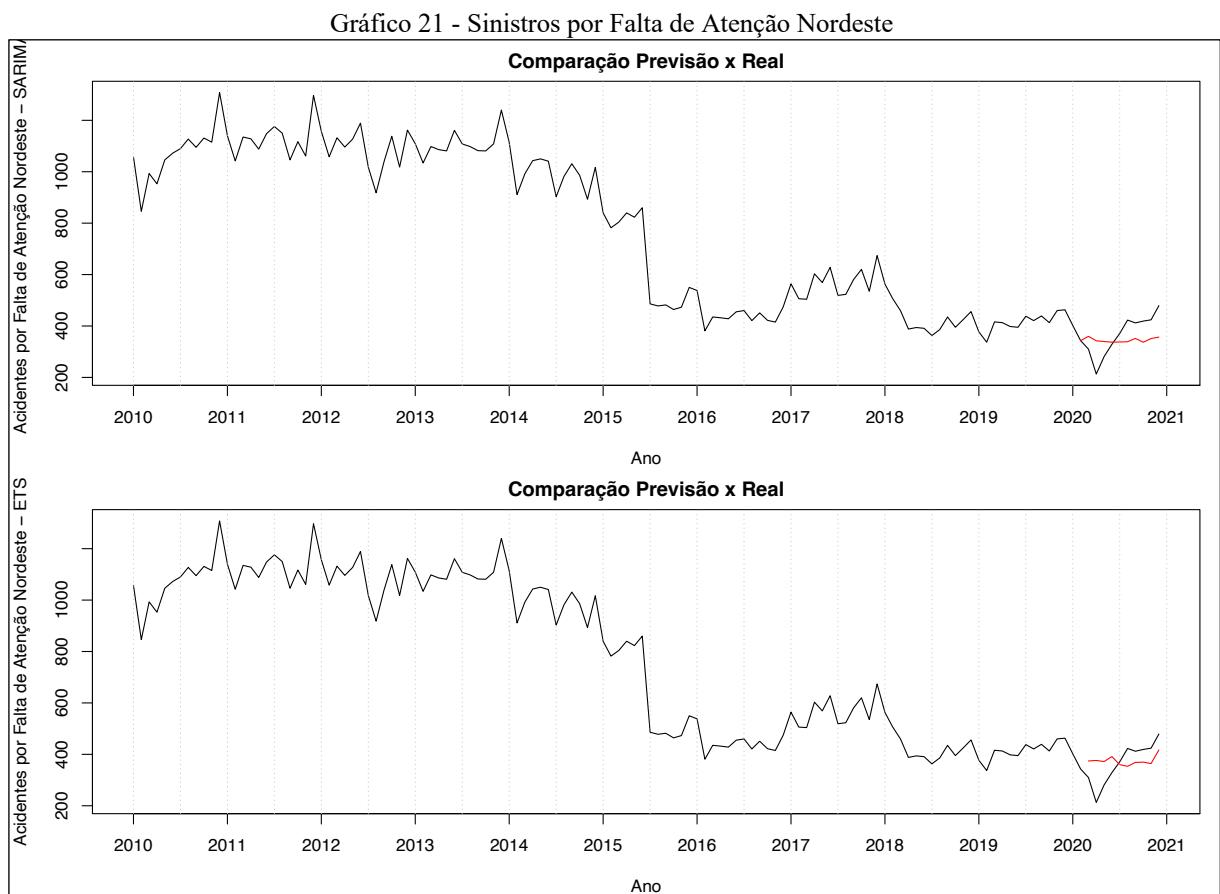
Ratificando a análise do Gráfico 20, os valores de MAPE confirmam que o modelo mais adequado para essa variável é o ETS com 8,1% de adequação ao modelo, que significa maior confiabilidade do que o SARIMA.

Tabela 18 - Métricas de Desempenho Mortes Nordeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1122.5	0.5425773	23.38722	18.71214	7.275491	19.25823	0.0343539
ETS	1325.329	-2.442701	18.34727	14.72985	-2.205425	8.104349	-0.2126626

Fonte: A autora (2025)

Para a análise da variável relativa à causa dos sinistros”, no caso a “falta de atenção”, desde o início de 2020, os valores entraram em declínio, com valor mais baixo em março, muito abaixo do padrão observado nos anos anteriores, mas condizente com a realidade daquele momento de pandemia, com as medidas de isolamento social causando redução de fluxo de veículos nas rodovias. Logo em seguida, os dados reais apresentam uma subida expressiva nos sinistros por essa causa, sugerindo que, com o relaxamento das restrições e o retorno gradual das atividades, houve o aumento do fluxo de veículos, possivelmente acompanhado dos efeitos comportamentais da pandemia, como estresse e desatenção.



Fonte: A autora (2025)

As métricas de desempenho na Tabela 19, ilustram que os dados se adequaram melhor ao modelo ETS com um MAPE de 6% indicando melhor precisão.

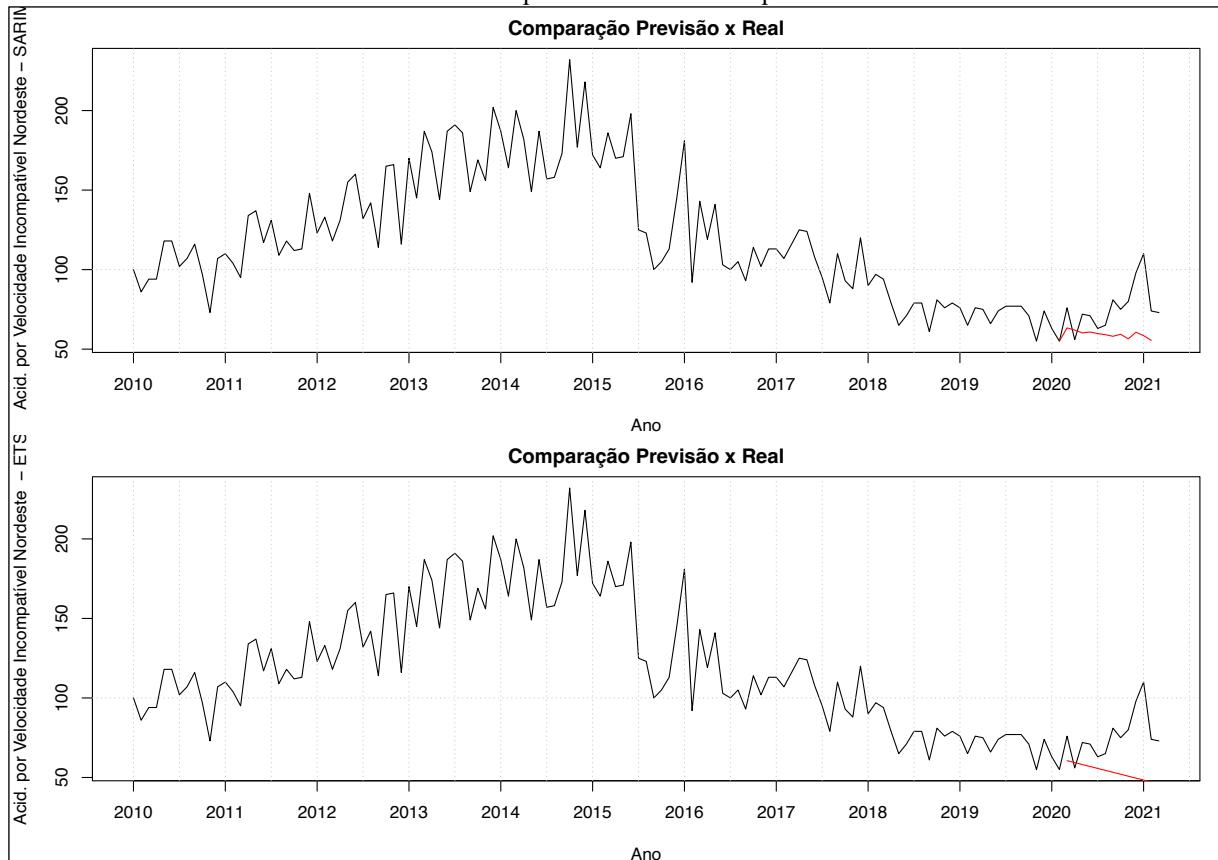
Tabela 19 - Métricas de Desempenho Sinistros por Falta de Atenção Nordeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-201.98	20.96194	78.47044	70.09342	0.5824063	20.59378	0.6760468
ETS	1616.082	-8.72645	57.96708	41.52883	-1.610594	6.004044	-0.02139374

Fonte: A autora (2025)

A comparação dos dados reais e previsão para a causa “velocidade incompatível” podem ser vistas no Gráfico 22. Nele, se mostra que no início do período pandêmico, a queda no número de sinistros ocorreu conforme a tendência de anos anteriores, porém, logo depois há um aumento significativo, contrariando o que vinha acontecendo anteriormente. Apesar do MAPE apresentar valor acima de 20%, pode-se dizer que a previsão esperada está bem abaixo, do que realmente aconteceu nas rodovias brasileiras.

Gráfico 22 - Sinistros por Velocidade Incompatível Nordeste



Fonte: A autora (2025)

Para este caso de velocidade incompatível, a previsão através do modelo ETS é insuficiente na confiabilidade, conforme pode ser visto no comportamento do período de previsão no gráfico na linha em vermelho. É possível avaliar que o MAPE está acima de 10 para SARIMA e ETS, indicando que a precisão do modelo é baixa. Esse fato pode ter ocorrido devido aos valores baixos, baixa variação e tendência clara de queda da série temporal utilizada.

Tabela 20 - Métricas de desempenho Velocidade Incompatível Nordeste

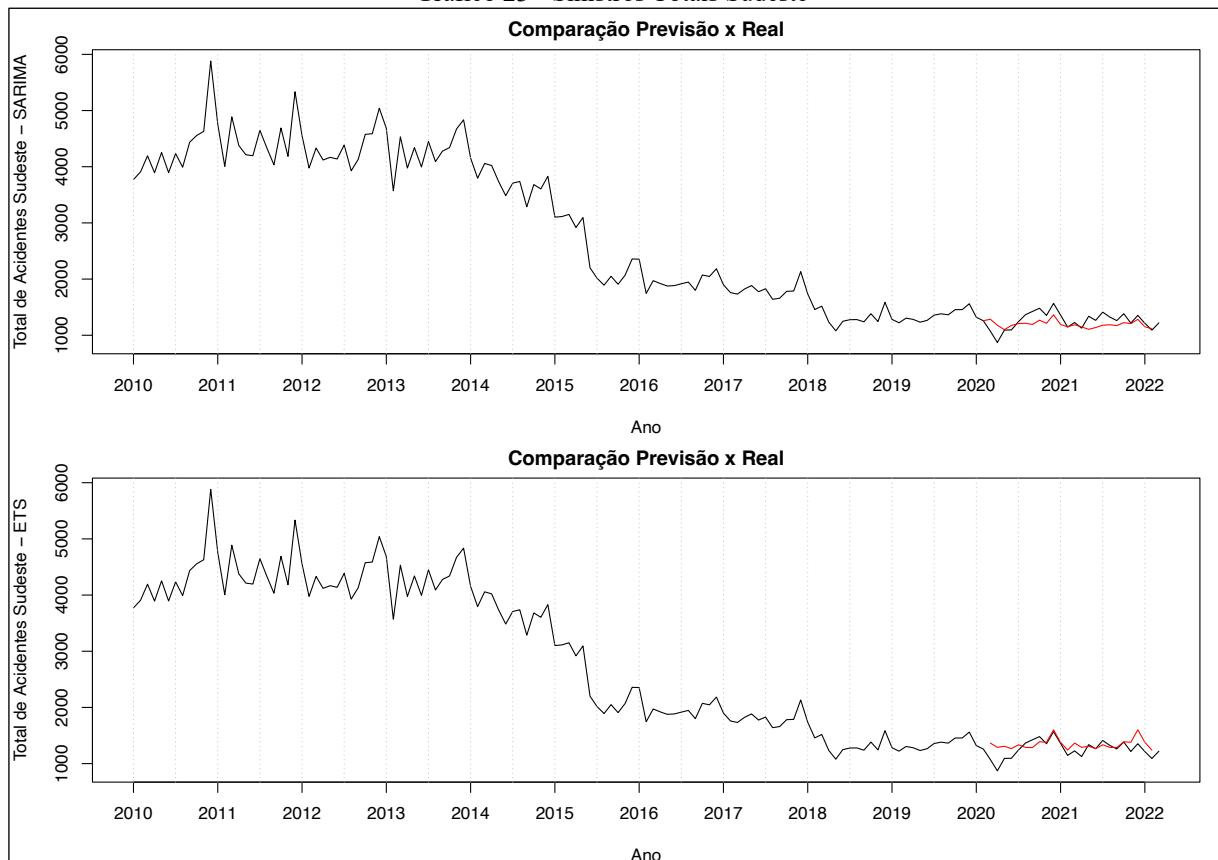
	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-96.91	-0.004419966	0.1546288	0.1231942	7.275491	21.72978	-0.006563345
ETS	1297.823	-2.379742	20.50126	15.75951	-3.613172	13.23577	0.05564828

Fonte: A autora (2025)

4.7.3 Região Sudeste

Para a análise de sinistros totais na região Sudeste (Gráfico 23), é possível observar que diferentemente de outras séries temporais, os dados do Sudeste não sofreram rupturas abruptas, a não ser pontualmente no mês de março (início da pandemia) e logo depois retomaram à tendência de anos anteriores, sem quedas acentuadas ou picos incomuns. Sendo assim, infere-se que o período pandêmico não causou reações impactantes no registro de sinistros totais, indicando que possivelmente os volumes de tráfego tenham sido mantidos. Além disso, as previsões acompanharam os dados reais com leves oscilações, ratificando as informações anteriores.

Gráfico 23 - Sinistros Totais Sudeste



Fonte: A autora (2025)

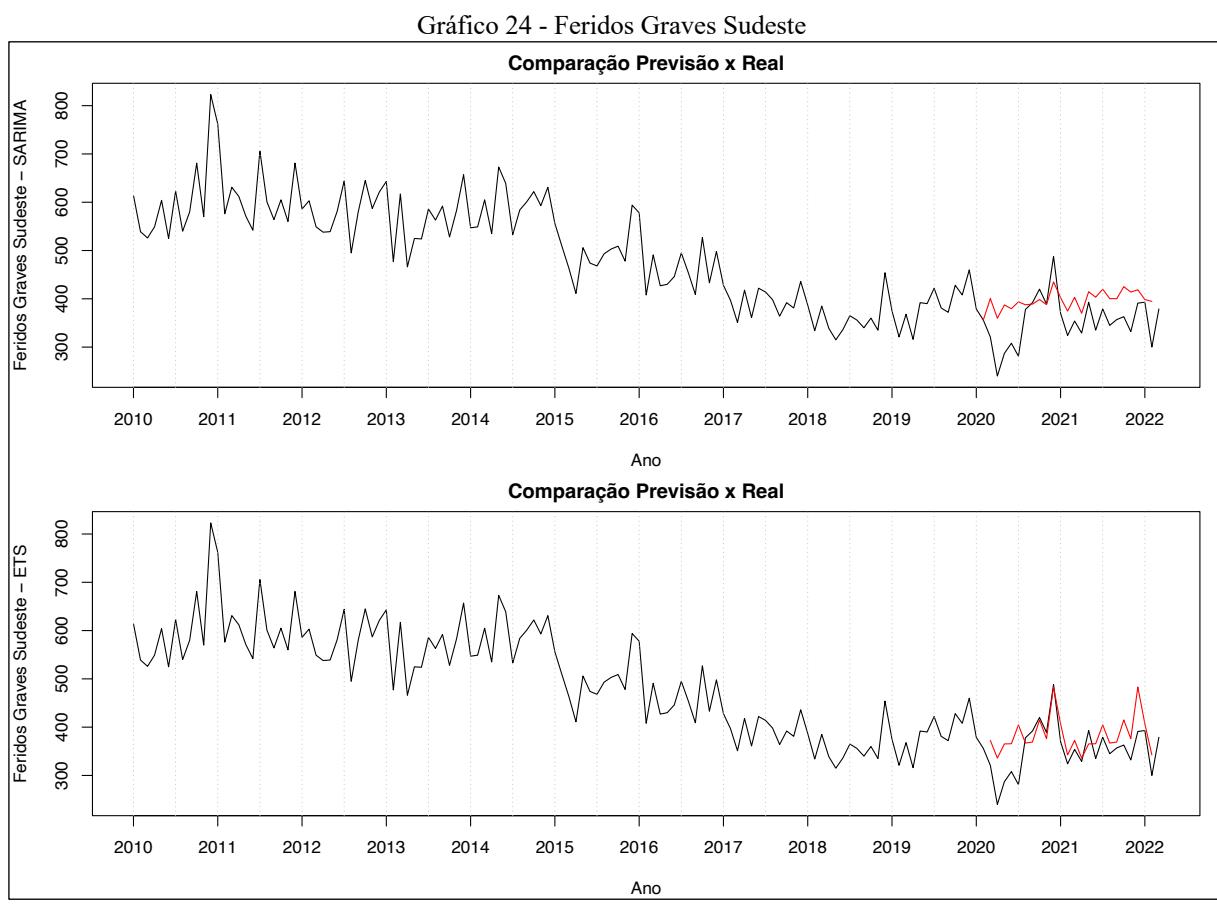
Na análise das métricas através do MAPE, como referência na Tabela 21, verifica-se que o ETS com valor 5,6% demonstra melhor aderência aos dados sugerindo melhor precisão na previsão feita.

Tabela 21 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Sudeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-239.45	-0.00280658	0.08359051	0.0633995	1.388716	11.96039	-0.017785
ETS	1894.060	-37.41047	216.649	157.1311	-1.851757	5.556114	-0.2362211

Fonte: A autora (2025)

Ao analisar as séries temporais para feridos graves no Sudeste (Gráfico 24), é possível verificar uma queda consistente no mês de março de 2020, coincidindo com o início da pandemia e das medidas de isolamento social, que reduziram o fluxo de veículos nas rodovias federais e consequentemente os sinistros com feridos graves. Logo depois, ocorre uma subida nos números reais, que segue a tendência dos anos anteriores para os anos de 2021 a 2022, em que há pouca oscilação nos dados reais. A previsão do modelo ETS segue um comportamento muito parecido com o que é visto nos dados reais, reafirmando o baixo impacto da pandemia para a variável analisada.



Quanto a análise da Tabela 22, o MAPE possui melhor precisão para o modelo ETS (6,6%), podendo ser confirmado na visualização dos gráficos, onde se verifica a proximidade da linha de previsão com os dados reais.

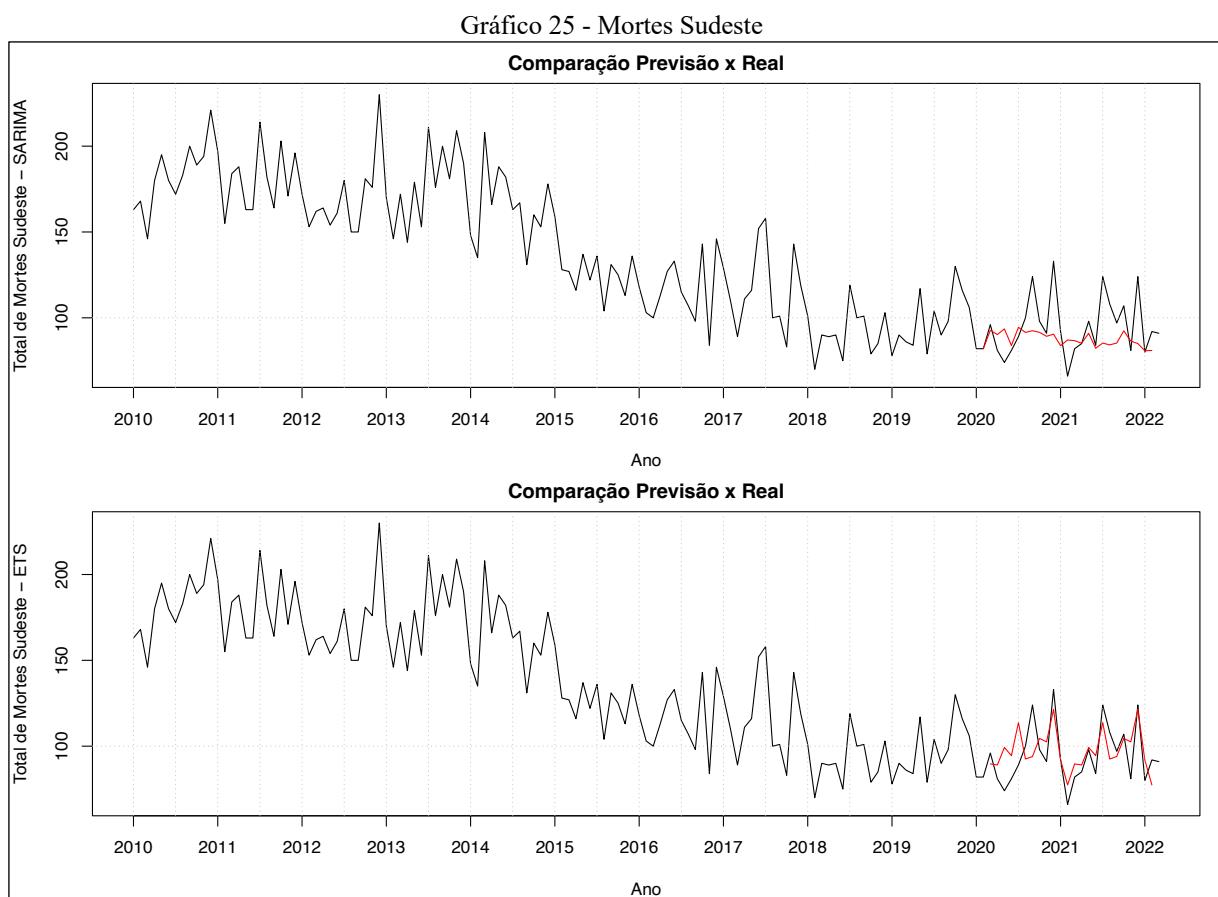
Tabela 22 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Sudeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-204.79	-45.40639	61.81756	51.94556	-14.83215	16.24834	0.4571799
ETS	1514.575	-5.590088	43.05669	33.81327	-1.633081	6.664625	-0.1338601

Fonte: A autora (2025)

O comportamento da variável “mortes” demonstra que os dados reais seguem a tendência dos anos anteriores. A partir da leve queda no mês de março de 2020, há uma elevação no número de mortes que apesar de alta, é compatível com o mesmo período do ano anterior.

No início de 2021, há um declínio mais contundente nas mortes, que pode estar associado, a uma nova onda de casos e mortes por Covid-19, mas logo após a subida das mortes segue conforme mostra o Gráfico 25. É possível verificar também que o modelo ETS responde melhor às mudanças abruptas, reforçando a importância de testar mais de um modelo de série temporal e analisar qual a melhor adequação para contexto de ruptura como o do fenômeno da pandemia.



Nas análises de métricas de desempenho, o MAPE ficou acima de 10% para os dois modelos testados, mas ainda assim é considerando com boa precisão. Visualmente, o ETS se adequa melhor aos dados reais da série temporal, demonstrando que apesar das oscilações ocorridas, os dados seguem a tendência anterior.

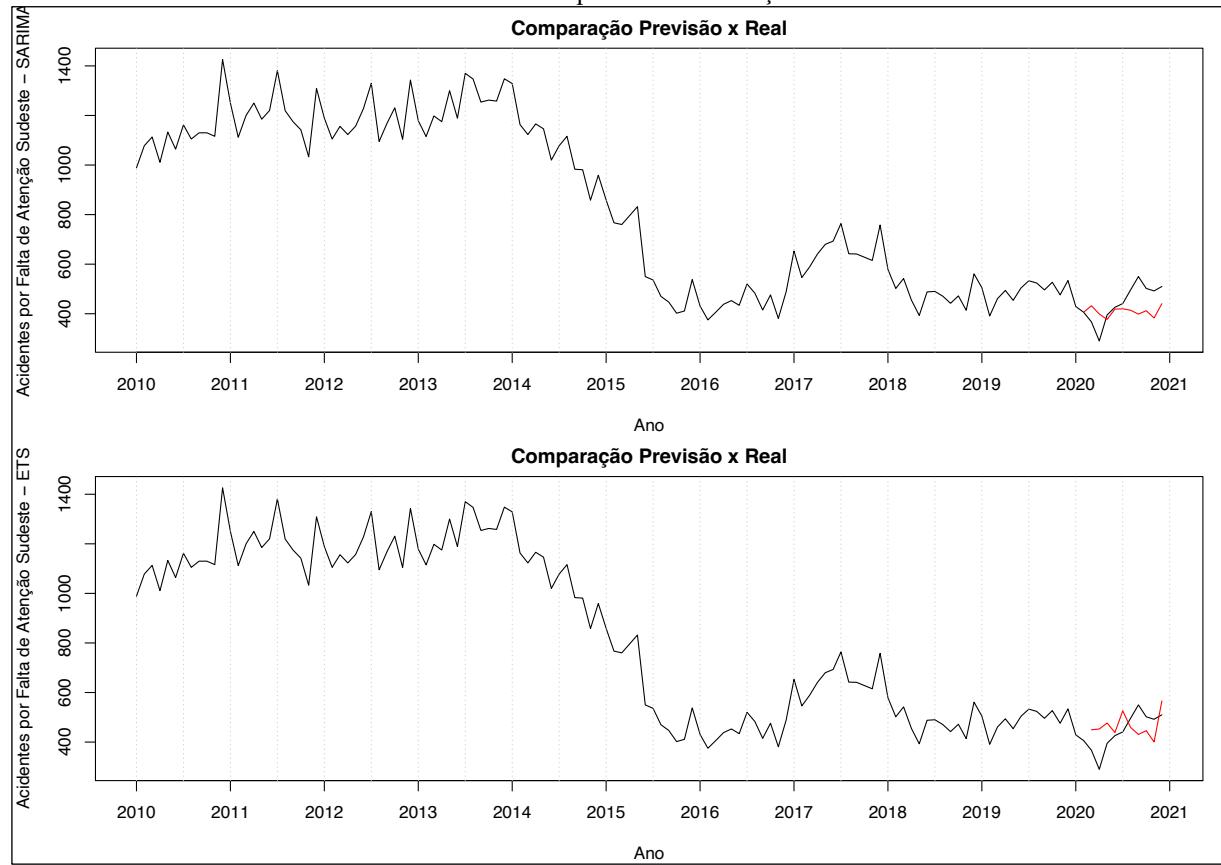
Tabela 23 - Métricas de Desempenho Mortes Sudeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1087.06	0.2059086	20.56946	16.29043	1.388716	12.98557	0.01689611
ETS	1316.614	-2.624987	17.65463	14.40845	-3.454837	11.08282	-0.06087727

Fonte: A autora (2025)

A seguir são analisados inicialmente para o Sudeste, os gráficos para sinistros com causa devida à falta de atenção e posteriormente, para velocidade incompatível. Da mesma forma, que nas outras regiões, essa causa de sinistros apresenta queda abrupta no início da pandemia, seguida por uma elevação, que segue para o segundo semestre de 2020, chegando ao pico com mais de 500 sinistros por falta de atenção. Na previsão, é possível observar que os dois modelos seguem a tendência dos anos anteriores, porém, o comportamento dos dados acontece de forma diferente, provavelmente pelos impactos causados pelas restrições sociais e redução de tráfego nas rodovias federais e, apesar disso, foram alcançados números altos de sinistros por esta causa de sinistros, inferindo que o estresse e a falta de atenção dos motoristas podem ter contribuído significativamente.

Gráfico 26 - Sinistros por Falta de Atenção Sudeste



Fonte: A autora (2025)

As métricas de desempenho demonstram que o modelo ETS se ajusta melhor aos dados, com 6,7% de precisão, enquanto o SARIMA apresenta precisão acima de 16%, que apesar de ser considerada boa, ainda é inferior as métricas do ETS.

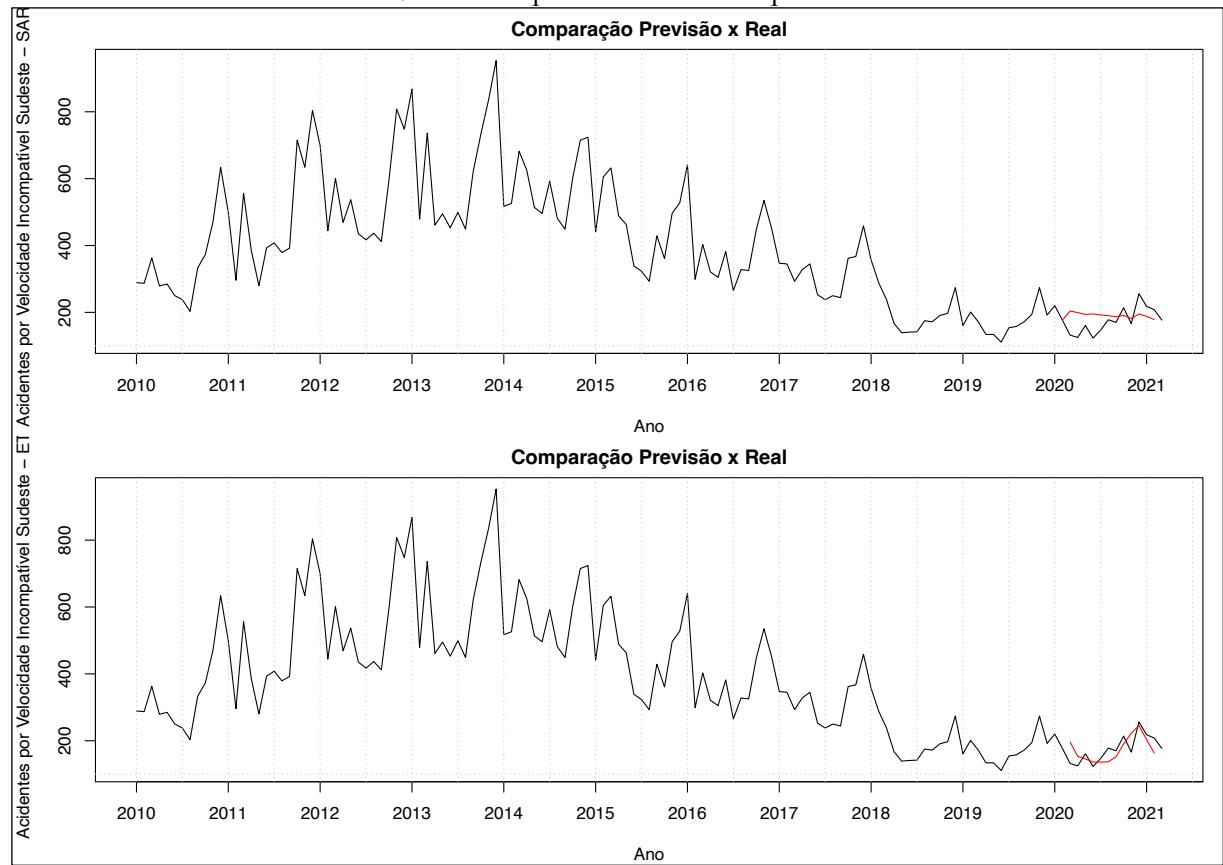
Tabela 24 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Sudeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-199.7	-0.001819091	0.09762591	0.07588018	5.357188	16.4089	-0.003168787
ETS	1643.534	-8.293073	67.41261	50.78089	-1.573587	6.790179	-0.0215792

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 27 ilustra o comportamento das séries temporais para a variável velocidade incompatível. No início da pandemia, é possível visualizar a queda discreta na quantidade de sinistros, seguida de um crescimento lento, mas que alcança um pico de 256 no final de 2020 e volta a cair. As previsões possuem precisão mais adequada para o modelo ETS, conforme o MAPE, que será comentado posteriormente, assim, demonstrando que em alguns momentos, os quantitativos reais superaram os valores previstos, porém, sem grandes impactos.

Gráfico 27 - Sinistros por Velocidade Incompatível Sudeste



Fonte: A autora (2025)

Na Tabela 25 é perceptível que o MAPE para o modelo SARIMA (26%) está na faixa aceitável, porém, a precisão mais adequada é vista para o modelo ETS, que neste caso reflete melhor o comportamento dos dados estudados.

Tabela 25 - Métricas de Desempenho Sinistros Velocidade Incompatível Sudeste

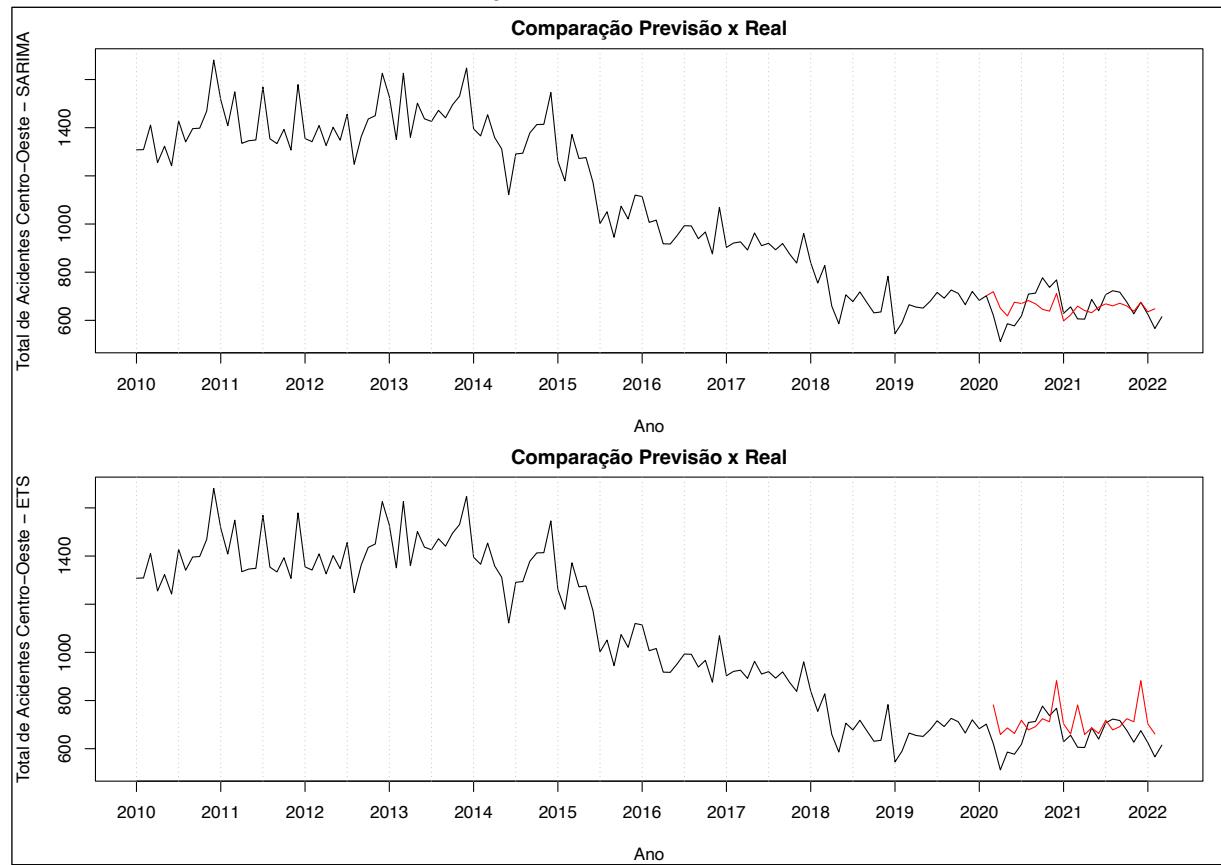
	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-20.29	-0.01333086	0.2029673	0.1614357	-15.68837	26.06229	-0.0009467986
ETS	1625.547	-4.787961	71.06139	52.19923	-3.502179	13.74857	-0.1254691

Fonte: A autora (2025)

4.7.4 Região Centro-Oeste

A região Centro-Oeste começa a ser analisada pelo Gráfico 28, que apresenta informações sobre os sinistros totais, com previsão para dois anos. Assim como em outras séries temporais, o mês de março é marcado pela queda nos sinistros, devido ao início da pandemia. Essa queda está alinhada com as restrições de isolamento social. Logo depois inicia-se, um aumento gradual nos sinistros culminando com picos pontuais no final de 2020. As previsões seguem o comportamento de tendência dos anos anteriores, alguns desvios para mais ou para menos, sem grandes impactos.

Gráfico 28 - Sinistros Totais Centro-Oeste



Fonte: A autora (2025)

As métricas de desempenho se apresentam abaixo de 10%, indicando uma adequação excelente dos resíduos. Sendo assim, tanto a previsão pelo SARIMA quanto pelo ETS, conseguiram, a partir dos dados passados, prever o comportamento futuro da série temporal para sinistros totais.

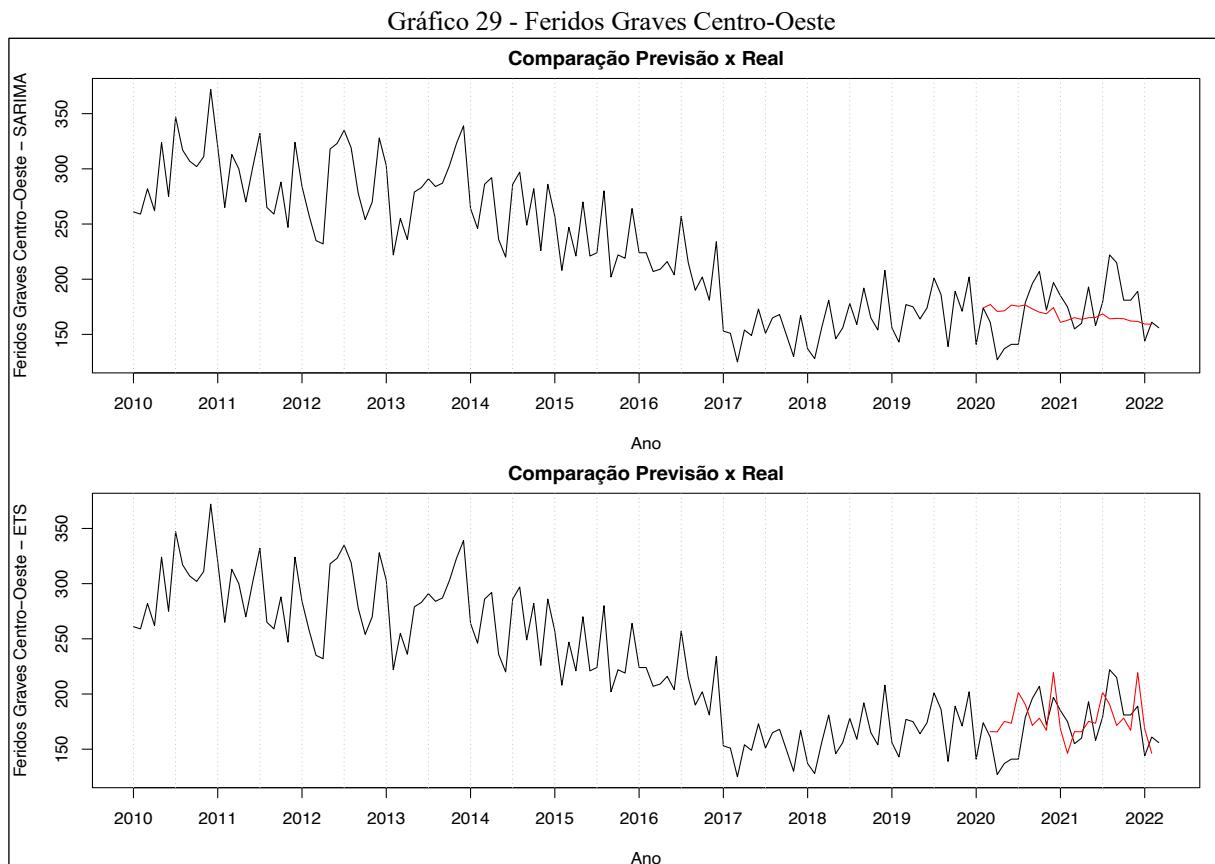
Tabela 26 - Métricas de Desempenho Sinistros Totais Centro-Oeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-277.98	0.6549228	64.24841	52.76321	-0.8268761	8.217918	0.5717439
ETS	1652.754	-9.732633	70.00873	55.50314	-1.19676	5.378698	-0.0315896

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 29 compara os dados reais mensais de feridos graves para a região Centro-Oeste e suas previsões. No início da pandemia, observa-se uma queda brusca no número de feridos graves, possivelmente devido às restrições impostas, porém, essa redução é seguida de um aumento que demonstra alguns picos no segundo semestre de 2020, indicando a retomada da circulação de veículos nas rodovias federais devido à flexibilização nas restrições. O comportamento volátil, a partir do segundo semestre de 2020, difere da tendência de anos anteriores, reforçando o impacto da pandemia sobre os sinistros que foram imediatos, mas não sustentáveis durante os dois anos analisados, além disso, deve ser considerado a possível mudança no perfil dos condutores.

Quanto às previsões, o modelo ETS segue a tendência anterior dos últimos anos, mas com alguns picos ou declínios, caracterizando sua responsividade a mudanças recentes como o cenário instável vivido durante a pandemia.



Fonte: A autora (2025)

As métricas ilustradas na Tabela 27 demonstram melhor adequação e precisão do modelo ETS para o estudo dos dados devido seu valor abaixo de 10%. Apesar disso, SARIMA ainda é considerado com uma boa precisão.

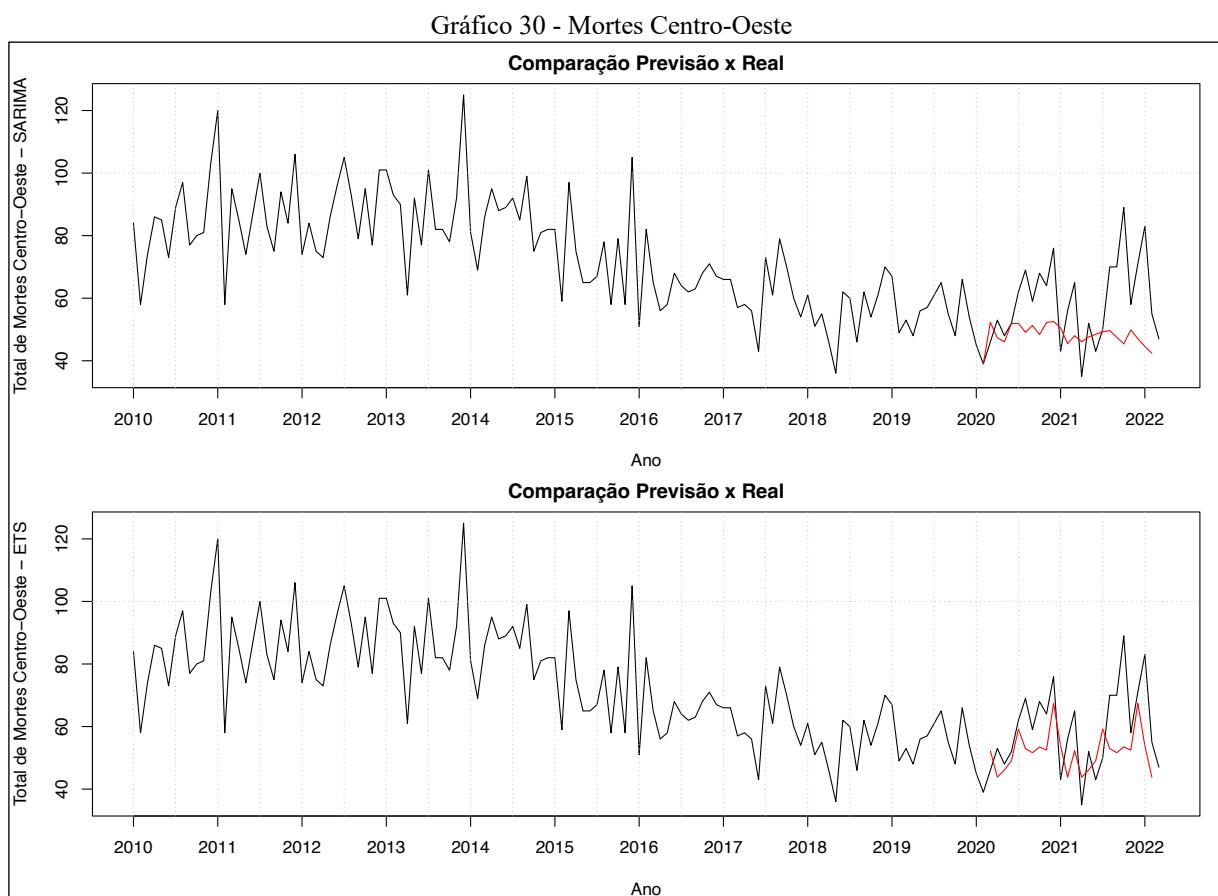
Tabela 27 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Centro-Oeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-181.57	8.47572e-05	0.1092951	0.08730213	1.0803	13.02913	0.01071956
ETS	1383.023	-2.96918	23.17712	18.51593	-2.088335	8.402711	-0.003455952

Fonte: A autora (2025)

Dito isso, o Gráfico 9 ilustra os dados reais e de previsão para os sinistros por falta de atenção, para os modelos SARIMA e ETS, nos quais se observa que, após o mês de março, houve uma elevação nesses sinistros, divergindo tanto da estabilidade dos anos anteriores, quanto da previsão para o período estudado, que indicava que, na ausência do contexto pandêmico, haveria uma leve queda, seguida por estabilidade nos meses seguintes quanto a esse tipo de ocorrência.

Os modelos de previsão não captaram o comportamento real, visto que com o impacto da pandemia, ocorreram mudanças nos padrões de mobilidade, com as restrições e flexibilização das medidas restritivas. Dessa forma, as previsões seguiram o comportamento dos anos anteriores, que não foram acompanhados dos dados reais, quando ocorreram picos de mortes, sugerindo que o aumento pode ter sido influenciado pelos fatores comportamentais, como o aumento da velocidade média nas rodovias menos congestionadas ou a queda na fiscalização das rodovias federais, durante os períodos críticos na pandemia.



Ao analisar as métricas de desempenho, o MAPE mostra-se mais baixo para o modelo ETS (12,6%), que apesar de estar acima de 10% se adequa melhor que o valor de MAPE para SARIMA (21,1%). Essas métricas indicam que o modelo de previsão mais adequado para esta série temporal é o ETS.

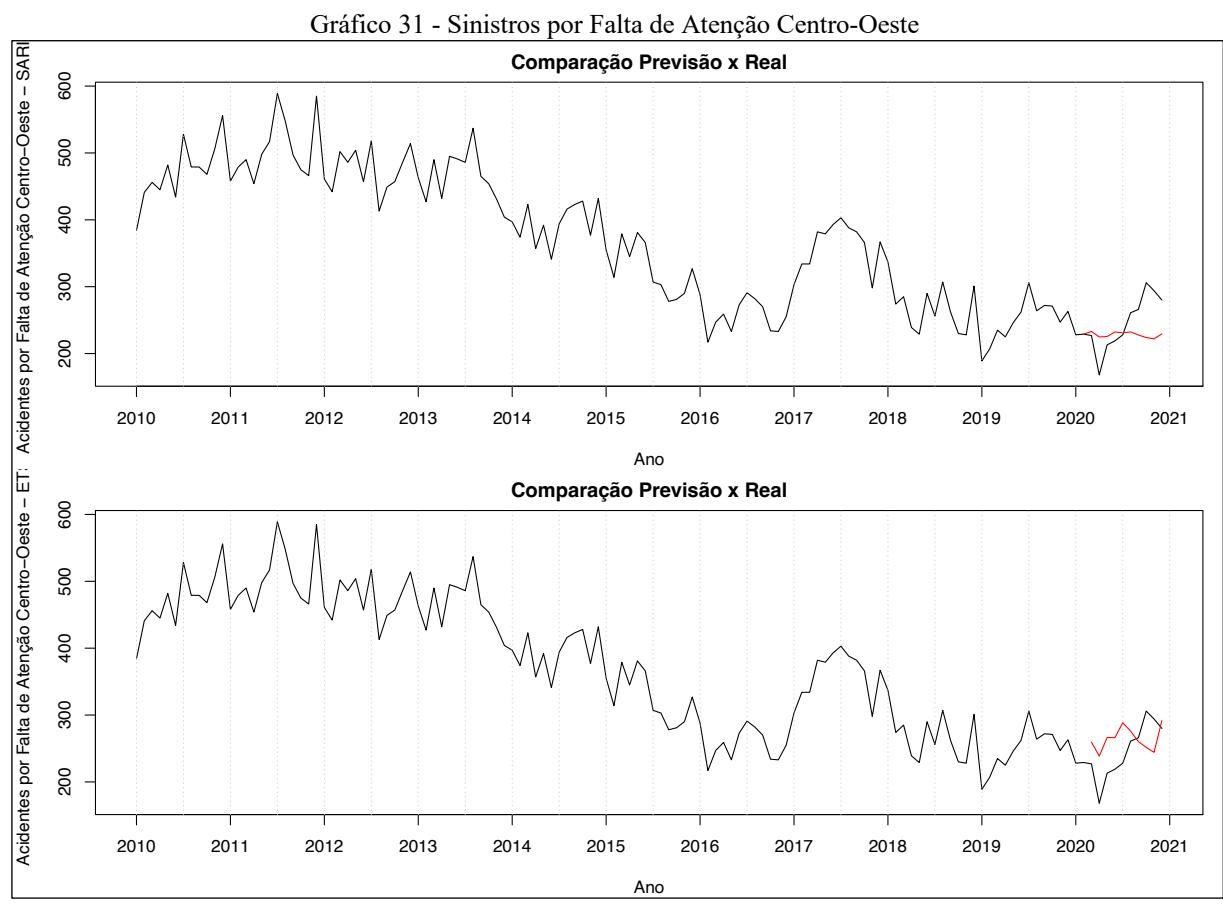
Tabela 28 - Métricas de Desempenho Mortes Centro-Oeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	957.89	-0.0066917	11.89724	9.366297	14.90172	21.19569	0.00705197
ETS	1194.321	-1.742328	10.92404	8.771978	-4.63666	12.61316	-0.1895399

Fonte: A autora (2025)

Inicialmente, no Gráfico 31 tem-se a queda brusca nos sinistros em função do início da pandemia. No entanto, logo há um aumento expressivo nas ocorrências e como já esperado, essa queda não é prevista por nenhum dos dois modelos, que projetaram a continuidade da tendência dos anos anteriores, o que divergiu dos sinistros reais ocorridos no período.

É possível observar também, que apesar dos impactos gerados pela pandemia, os sinistros por falta de atenção seguiram a tendência de alta para o período, repetindo o comportamento do ano anterior, sugerindo a influência de fatores comportamentais ocorridos no período estudado.



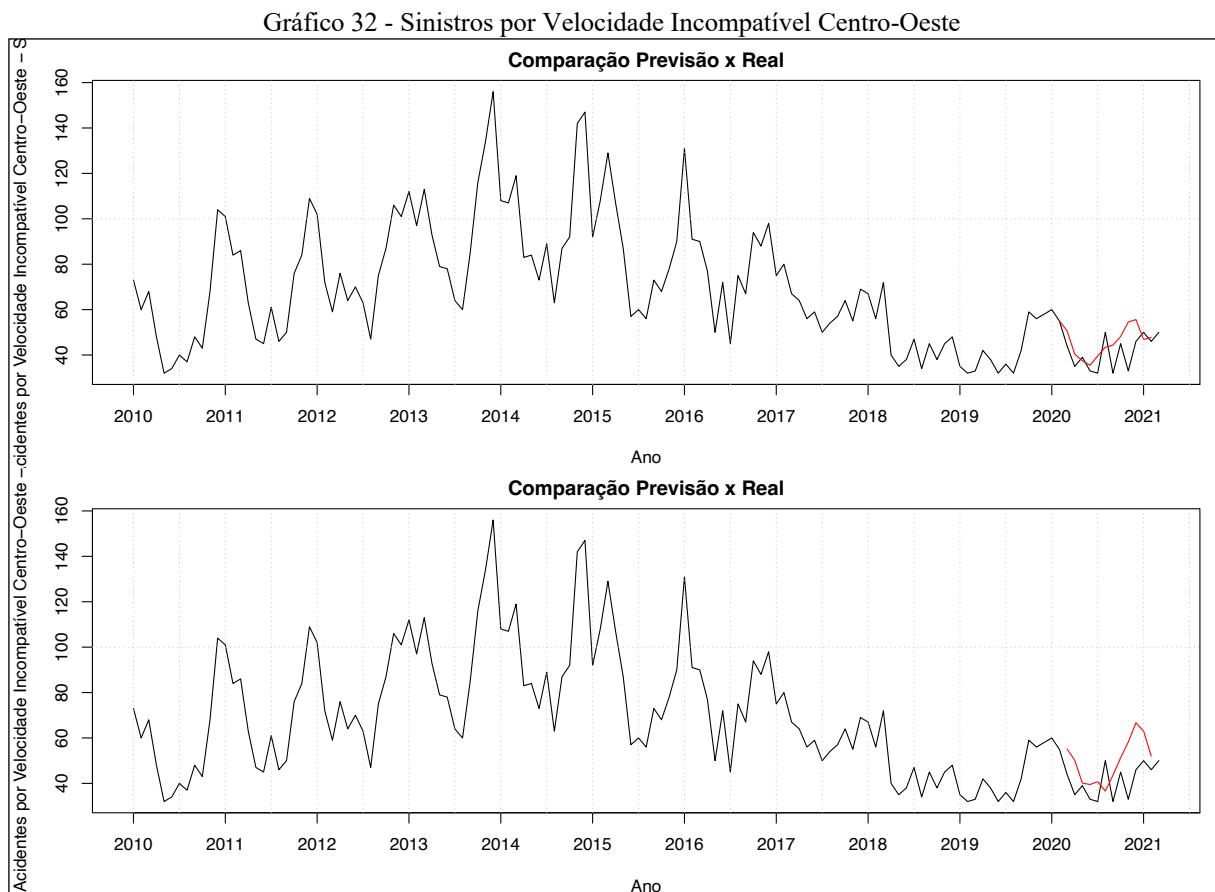
A análise de precisão, se mostra mais adequada para o modelo ETS que possui valor de 7,3%. Enquanto, o modelo SARIMA apresenta precisão de 18,5%, que apesar de considerada boa, ao ser comparada ao ETS, se torna de menor adequação.

Tabela 29 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Centro-Oeste

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-181.57	8.47572e-05	0.1092951	0.08730213	13.49424	18.5584	0.01071956
ETS	1470.166	-3.296941	33.12573	25.48735	-1.554531	7.360418	-0.03617353

Fonte: A autora (2025)

A análise dos sinistros por velocidade incompatível se comporta com uma inicial queda já esperada, conforme a previsão mostra e, apresenta uma inversão na tendência para o segundo semestre de 2020, com picos que ultrapassam os valores ocorridos no primeiro semestre. É possível verificar, que apesar da oscilação na quantidade de sinistros por velocidade incompatível para o período estudado, os valores em alguns meses ficam abaixo do previsto, tanto para o modelo SARIMA quanto para o modelo ETS.



O MAPE para os dois modelos testados é bem acima de 10% e essa porcentagem pode ser justificada devido aos valores baixos na série temporal analisada. Como os modelos são univariados e se baseiam em padrões passados, eles não conseguem antecipar mudanças exógenas, levando a discrepâncias entre os valores previstos e reais.

Tabela 30 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Centro-Oeste

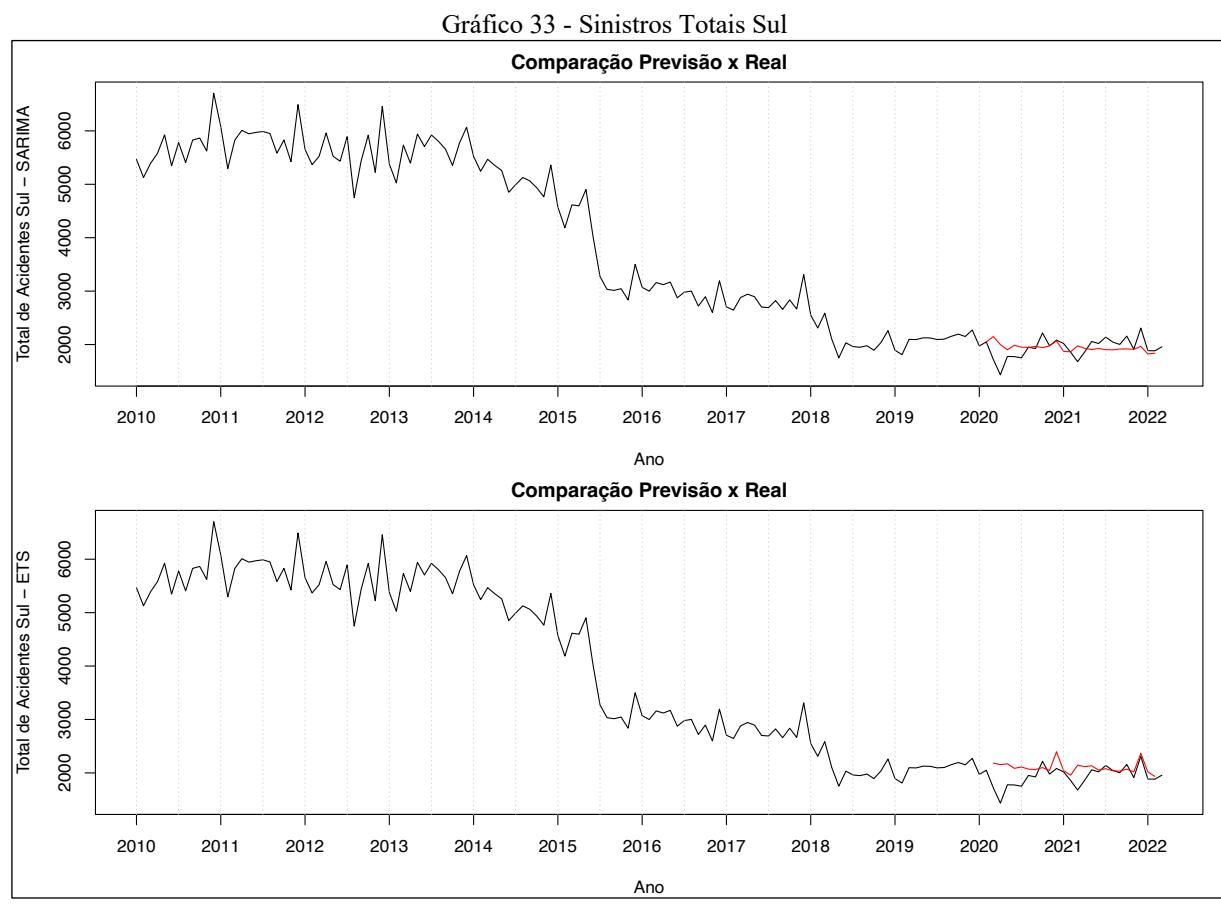
	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-20.94	-0.01306769	0.2049544	0.1624636	-14.48751	18.39013	-0.02586984
ETS	1217.497	-0.2173666	13.10334	10.09692	-2.822962	14.68431	-0.009158844

Fonte: A autora (2025)

4.7.5 Região Sul

Abaixo, seguem as análises da região Sul e suas variáveis. O Gráfico 33 apresenta informações sobre o comportamento dos sinistros totais, com uma queda entre os meses de março e abril de 2020, devido ao início da pandemia. No entanto, essa reação foi menos intensa do que a observada em outras séries ou regiões do país. A partir do segundo semestre de 2020, o número de sinistros retorna a uma relativa estabilidade, com oscilações moderadas dentro da faixa observada nos anos anteriores. Quanto às previsões, tanto o SARIMA quanto o ETS possuem comportamento muito parecido com poucas variações acima ou abaixo dos valores reais de sinistros totais ocorridos.

Portanto, considerando os sinistros totais, a região Sul se destaca por uma menor sensibilidade aos efeitos da pandemia, sugerindo que um padrão de sinistros já havia se estabilizado em níveis reduzidos.



Fonte: A autora (2025)

A métricas de desempenho na Tabela 31 ilustram que os modelos SARIMA e ETS possuem porcentagens abaixo de 10%, indicando que a precisão é considerada excelente para a

variável analisada, e esta característica pode ser confirmada graficamente acima.

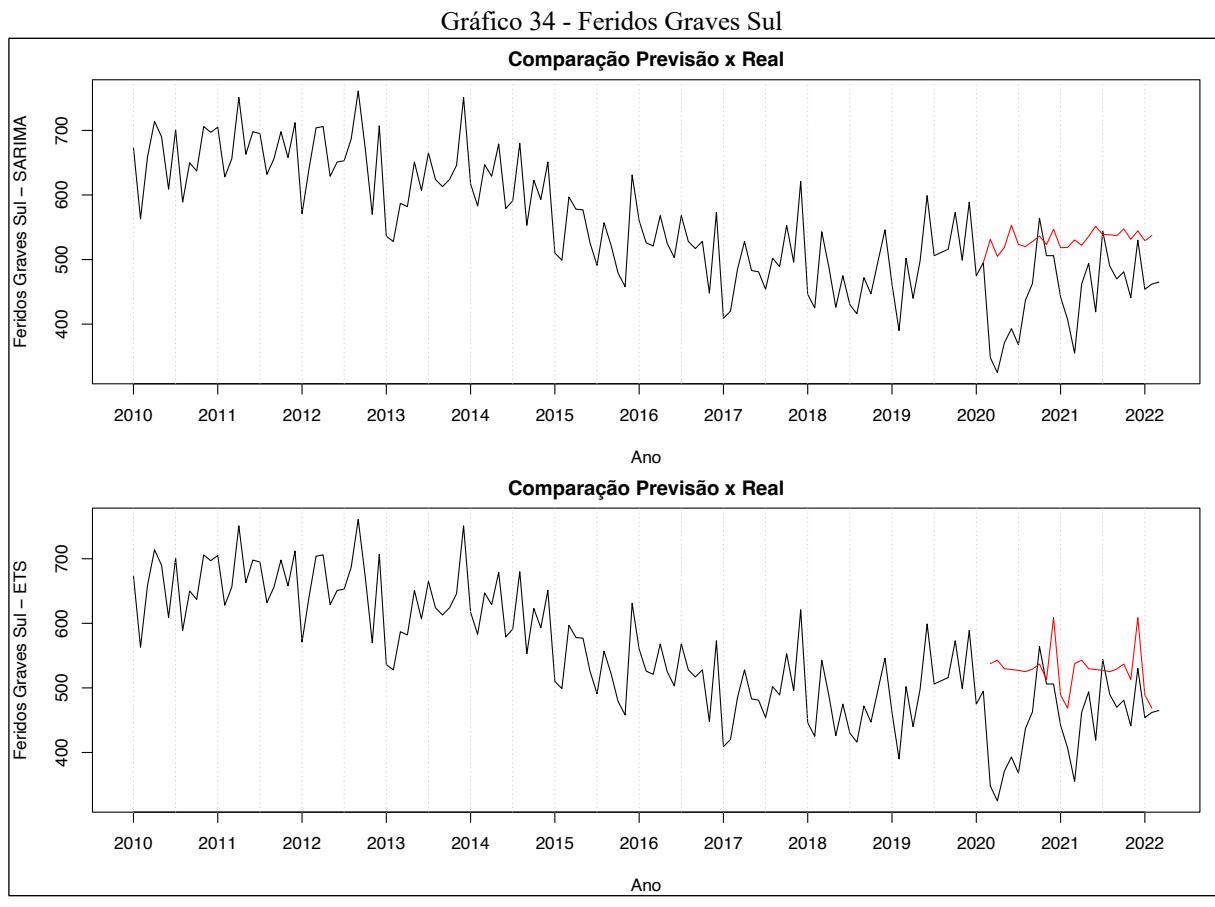
Tabela 31- Métricas de Desempenho Sinistros Totais Sul

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-272.59	-3.823432	213.3703	157.9971	-1.311577	8.565078	0.4711831
ETS	1950.909	-33.81945	252.7929	183.2827	-1.020679	4.64833	-0.0723521

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 34 ilustra a comparação da previsão para dois anos para a variável “feridos graves”. É possível notar uma queda acentuada no número de feridos graves nos primeiros meses de 2020, refletindo a forte restrição de circulação social e a consequente redução de veículos nas rodovias. No entanto, a partir do segundo semestre de 2020, observa-se uma recuperação rápida da série com valores que retomam ao patamar da pré-pandemia. No início de 2021, acontece uma nova queda, possivelmente justificada por mais uma onda de casos e mortes por Covid-19, acompanhada de um novo período de restrições, seguida de uma elevação com valores, que seguem a tendência anterior. Esse padrão sugere uma compensação pós-isolamento, onde o aumento da circulação – muitas vezes com menor fiscalização – pode ter provocado um crescimento nos feridos graves, mesmo com o tráfego inferior aos níveis normais.

Quanto às previsões, tanto o SARIMA quanto o ETS seguem a tendência de anos anteriores, que, no entanto, não é acompanhada dos valores reais, ou seja, apesar dos picos que podem ser vistos, os valores reais seguem abaixo do que foi previsto para o período.



Ao analisar as métricas de desempenho na Tabela 32, é possível verificar que modelo SARIMA fica acima do que se considera uma boa precisão, ao contrário do modelo ETS, que apresenta MAPE com 6% de precisão, indicando excelência na aderência do modelo aos dados da série temporal.

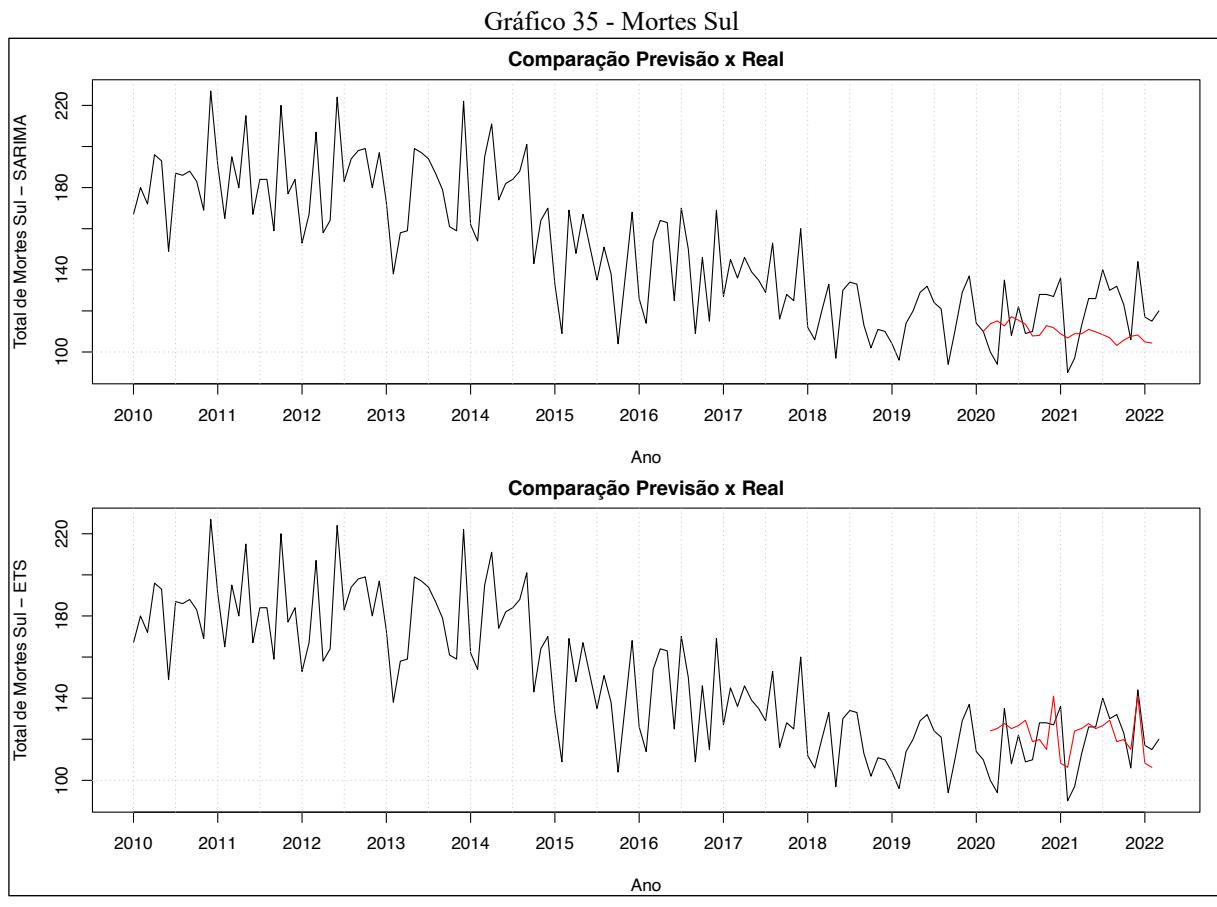
Tabela 32 - Métricas de Desempenho Feridos Graves Sul

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1305.51	-84.78386	102.9777	87.54567	-21.28248	21.7751	0.4602562
ETS	1529.664	-3.994543	42.27314	34.08964	-1.145285	6.027559	-0.02678336

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 35 para mortes na região Sul, apresenta uma redução brusca no início da pandemia em 2020, que logo em seguida se recupera e retorna aos patamares anteriores à pandemia, ignorando o período incomum e suas restrições.

Quanto às previsões, é possível observar que ao contrário do gráfico anterior, a quantidade de mortes aparece acima do previsto indicando que para essa variável, houve pouco impacto das restrições causadas pelo período pandêmico.



A análise das métricas de desempenho (Tabela 33), ilustra que o modelo ETS possui maior aderência aos dados com o valor de MAPE de 8,88%, caracterizando uma precisão excelente.

Tabela 33 - Métricas de Desempenho Mortes Sul

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	1076.24	0.2897488	19.64152	15.5702	6.285681	13.06381	-0.0030923
ETS	1302.294	-2.330354	17.30742	13.33814	-2.612114	8.881576	-0.0877851

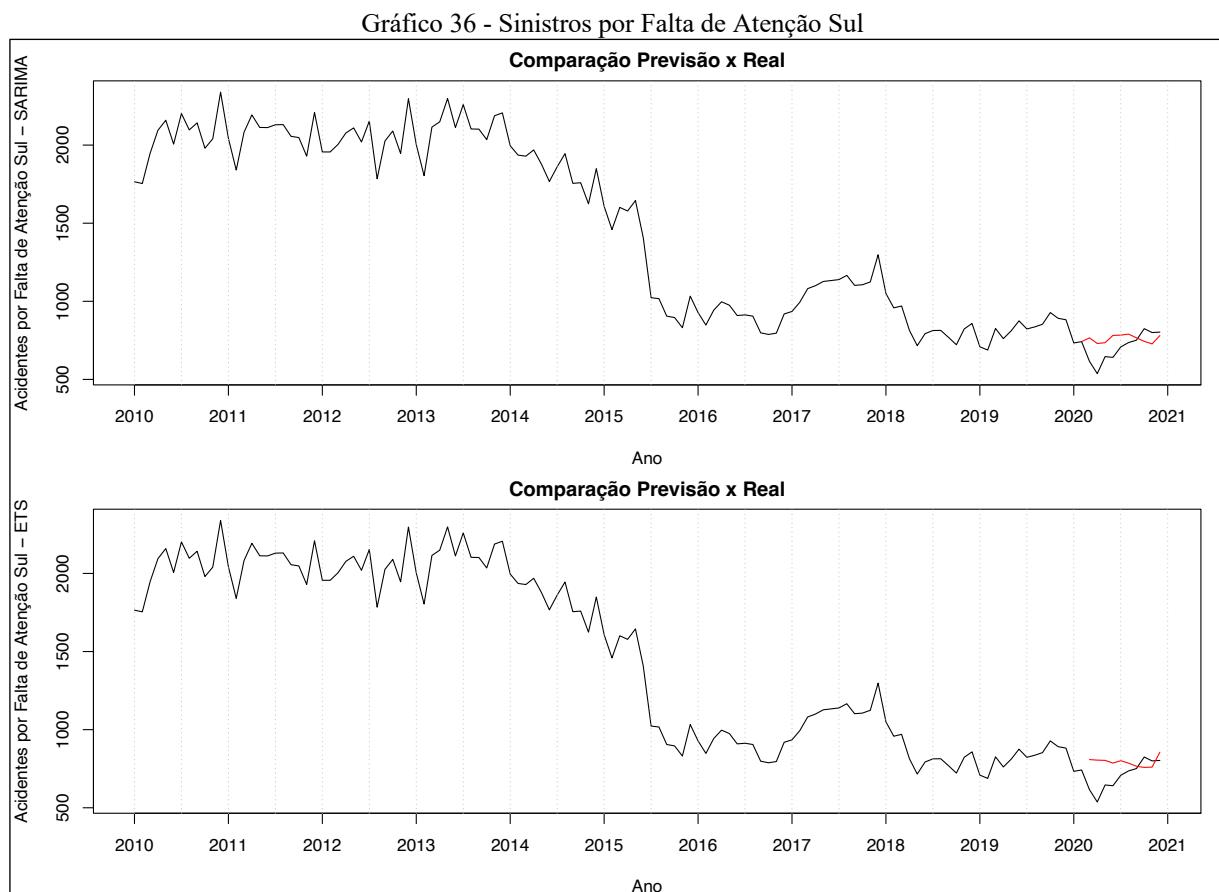
Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 36 ilustra o comportamento da série temporal para os sinistros por falta de atenção em dez meses de previsão. A queda de sinistros no início de 2020 coincide com o início das restrições pela pandemia, seguida de uma retomada gradativa ao patamar pré-pandemia, com variações mensais levemente crescentes.

Esse comportamento indica que a pandemia teve um efeito imediato nos sinistros por falta de atenção, possivelmente devido a menor exposição ao risco. No entanto, a redução não se sustentou ao longo do tempo, sugerindo que o comportamento imprudente ao volante persistiu ou até se intensificou após a flexibilização das medidas de restrição.

As previsões de SARIMA e ETS seguem a tendência dos comportamentos anteriores que não são seguidos pelos dados reais.

É possível dizer ainda que os sinistros por falta de atenção são sensíveis à exposição e aos volumes de tráfego, mas que o comportamento do condutor permanece como fator crítico, mesmo em contextos de crise.



A análise da Tabela 34, demonstra que o MAPE para o modelo ETS se adequa melhor do que para o SARIMA, que apresenta valor superior a 18%.

Tabela 34 - Métricas de Desempenho Falta de Atenção Sul

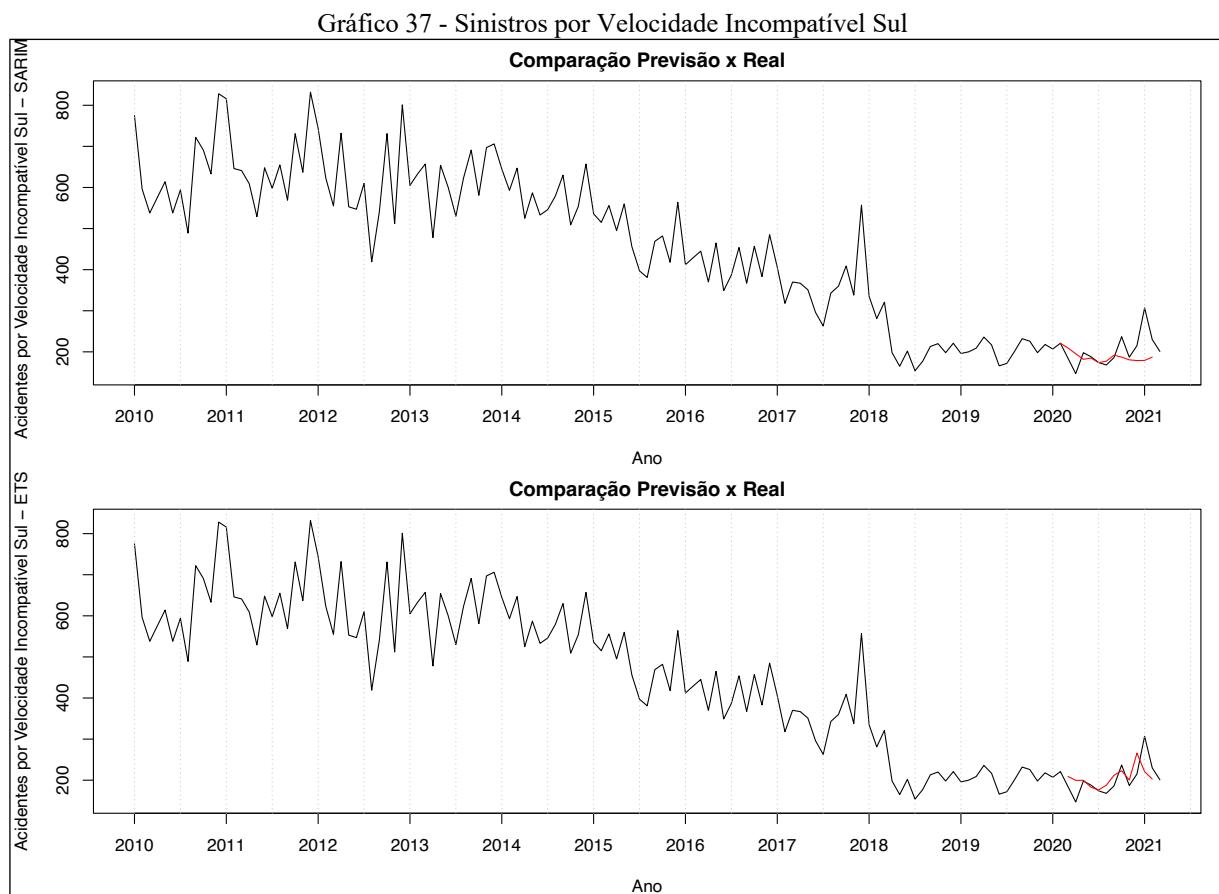
	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-169.12	-0.000981084	0.1154643	0.09006491	13.49424	18.5584	- 0.3238322
ETS	1733.950	-14.1389	100.7677	72.28571	-1.286671	5.308347	-0.0823158

Fonte: A autora (2025)

O Gráfico 37 ilustra o comportamento dos sinistros por velocidade incompatível, no qual se pode observar, que os valores já possuíam uma tendência de redução nos anos anteriores e, portanto, a queda no início da pandemia não foi brusca, em seguida há uma flutuação

crescente que culmina com um pico no final de 2021, quando provavelmente as rodovias estavam mais livres.

As previsões seguem a tendência dos anos anteriores com leves diferenças nos acontecimentos reais, indicando que a pandemia, na região Sul, não causou fortes impactos nos sinistros por velocidade incompatível.



As métricas de desempenho (Tabela 35) para os dois modelos não são muito diferentes e, portanto, consideradas com boa precisão com valores acima de 10%.

Tabela 35 - Métricas de Desempenho Velocidade Incompatível Sul

	AIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
SARIMA	-97.55	16.14622	45.98058	30.94989	4.679306	13.90437	0.3510197
ETS	1596.310	-9.013788	62.34591	46.40531	-3.671172	10.41922	-0.295199

Fonte: A autora (2025)

4.8 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS BRASIL E REGIÕES

A Tabela 36, expressa as comparações percentuais de queda ou elevação dos sinistros totais no Brasil e nas regiões, considerando as variações calculadas entre os valores de previsão

com os valores observados ocorridos no período, correspondentes aos períodos tidos como os mais críticos da pandemia de 03/2020 a 02/2022. Os valores são apresentados na primeira linha para SARIMA e na segunda linha para ETS, respectivamente.

Nos primeiros meses da pandemia, especialmente entre março e maio de 2020, observa-se uma redução acentuada nos sinistros totais em nível nacional. Em abril de 2020, por exemplo, o modelo SARIMA estimou quedas de -29% para o Brasil, com valores ainda mais expressivos no Nordeste (-29%), Sul (-28%) e Sudeste (-26%). O modelo ETS, por sua vez, apontou reduções ainda mais expressivas, como -36% no Nordeste e -33% no Sul. Esses resultados coincidem com o período inicial das restrições sanitárias mais rígidas, incluindo *lockdowns*, suspensão de atividades presenciais e redução drástica na mobilidade das pessoas.

Destaca-se, entretanto, o comportamento da região Norte, que apresentou aumento de 9% nos sinistros em abril de 2020 segundo o modelo SARIMA, destoando das demais regiões e divergindo do modelo ETS, que demonstra uma redução de 17% nos sinistros totais. Esse comportamento entre os modelos pode estar relacionado ao ajuste do modelo, que se mostrou com melhor precisão (MAPE= 5,9) para o ETS.

As reduções se mantiveram até o mês de junho de 2020, tanto no modelo SARIMA quanto no ETS, e somente a partir de julho de 2020, os dados revelam uma tendência de retorno gradual nos números de sinistros, em consonância com a flexibilização das medidas de distanciamento social. Em agosto e setembro de 2020, várias regiões apresentaram taxas positivas, com destaque para o Norte (+25% em agosto, SARIMA) e o Sudeste (+20% em setembro, SARIMA). Esse movimento de retomada foi captado de forma mais acentuada pelo modelo SARIMA, enquanto o ETS apresentou flutuações mais moderadas, o que sugere uma maior sensibilidade do primeiro às oscilações bruscas no volume de tráfego.

Os meses de outubro, novembro e dezembro de 2020, seguiram com taxas positivas em sua maioria, para os dois modelos testados, evidenciando a “normalidade” no tráfego das rodovias.

Durante o primeiro trimestre de 2021, que marcou a chamada “segunda onda” da pandemia no Brasil, houve nova redução nos sinistros, embora de menor intensidade. Em março de 2021, o modelo SARIMA estimou uma queda de -12% no Brasil, enquanto o ETS apontou -19%. Regiões como o Norte, Sul e o Centro-Oeste mantiveram quedas superiores a 20% nesse mês, segundo o ETS, evidenciando a influência das restrições intermitentes adotadas por estados e municípios.

Nos meses seguintes, especialmente a partir de maio de 2021, as variações voltam a ser majoritariamente positivas. Em outubro de 2021, por exemplo, o modelo SARIMA estimou aumentos de +13% no Brasil, Nordeste, Sul e Sudeste, o que pode estar associado à retomada plena da mobilidade e à intensificação de atividades econômicas. Já no final de 2021 e início de 2022, os dados apresentam comportamento heterogêneo, com alternância entre aumentos e quedas entre as regiões e entre os modelos utilizados.

Por fim, os dados confirmam que os maiores impactos da pandemia sobre os sinistros totais nas rodovias federais brasileiras ocorreram nos momentos de maior restrição à mobilidade (especialmente abril de 2020 e março de 2021).

Tabela 36 - Comparaçao Percentual Sinistros Totais - SARIMA e ETS

ANO / MÊS	Brasil	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
2020-03	-19%	0%	-11%	-20%	-16%	-14%
2020-03	-19%	-11%	-14%	-21%	-21%	-20%
2020-04	-29%	9%	-29%	-28%	-26%	-21%
2020-04	-32%	-17%	-36%	-33%	-32%	-22%
2020-05	-9%	3%	-16%	-7%	-1%	-5%
2020-05	-20%	-16%	-27%	-18%	-17%	-15%
2020-06	-13%	8%	-13%	-11%	-7%	-15%
2020-06	-18%	-13%	-23%	-15%	-14%	-13%
2020-07	-6%	11%	1%	-10%	3%	-8%
2020-07	-14%	0%	-7%	-17%	-7%	-14%
2020-08	5%	25%	9%	0%	14%	4%
2020-08	-3%	16%	3%	-6%	6%	5%
2020-09	5%	12%	10%	-2%	20%	7%
2020-09	-3%	7%	5%	-7%	11%	3%
2020-10	12%	13%	15%	14%	17%	20%
2020-10	4%	2%	5%	6%	7%	7%
2020-11	7%	16%	16%	0%	12%	16%
2020-11	0%	5%	13%	-3%	-2%	4%
2020-12	0%	14%	16%	1%	15%	8%
2020-12	-7%	-5%	3%	-13%	-2%	-13%
2021-01	6%	4%	4%	8%	14%	5%
2021-01	-7%	-3%	-6%	-1%	-1%	-10%
2021-02	1%	1%	-4%	0%	0%	5%
2021-02	-7%	-4%	-5%	-5%	-8%	-1%
2021-03	-12%	-12%	-13%	-15%	3%	-8%
2021-03	-19%	-25%	-18%	-22%	-10%	-22%
2021-04	-2%	-5%	-8%	-4%	-2%	-5%
2021-04	-15%	-18%	-17%	-12%	-13%	-8%
2021-05	19%	16%	9%	8%	21%	9%
2021-05	-4%	-1%	-4%	-4%	2%	0%
2021-06	6%	13%	-4%	5%	11%	-2%
2021-06	-7%	2%	-16%	-2%	0%	-3%
2021-07	15%	7%	9%	12%	20%	6%
2021-07	-2%	-9%	2%	3%	6%	-2%
2021-08	12%	4%	11%	8%	12%	10%
2021-08	-3%	-6%	4%	0%	3%	7%

2021-09	7%	3%	1%	4%	8%	7%
2021-09	-8%	-5%	-3%	-1%	-2%	4%
2021-10	13%	8%	13%	13%	13%	2%
2021-10	-2%	-6%	3%	4%	0%	-7%
2021-11	1%	-1%	-4%	0%	1%	-2%
2021-11	-11%	-14%	-8%	-5%	-12%	-12%
2021-12	3%	7%	1%	18%	6%	0%
2021-12	-13%	-15%	-13%	-2%	-15%	-23%
2022-01	6%	-5%	-3%	3%	5%	-2%
2022-01	-14%	-10%	-13%	-7%	-12%	-11%
2022-02	4%	20%	-6%	3%	-2%	-13%
2022-02	-9%	15%	-8%	-3%	-12%	-14%

Fonte: A autora (2025)

4.9 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS E MORTES BRASIL E REGIÕES

A Tabela 37 apresenta as variações percentuais entre sinistros totais e mortes no Brasil em relação às mortes ocorridas nas regiões. Assim como anteriormente, considera-se a primeira linha para SARIMA e a segunda linha para ETS, respectivamente.

Durante os meses iniciais da pandemia (março a maio de 2020), observa-se uma expressiva redução em nível nacional, nos sinistros nas rodovias (por exemplo, -29% em abril segundo SARIMA), o que é consistente com as severas restrições de mobilidade implementadas no período. No entanto, os sinistros com mortes não seguiram a mesma tendência de maneira uniforme, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Em abril de 2020, por exemplo, o modelo ETS aponta aumento de 23% nas mortes no Centro-Oeste, contrastando com quedas no Nordeste (-17%) e no Sudeste (-9%). Esse padrão não uniforme se intensifica em maio, com reduções expressivas no Norte (-42%) e Nordeste (-14%), mas aumento de 21% no Sul e estabilidade no Centro-Oeste. Além disso, o Norte continua se destacando no mês de junho, com uma redução de 50% (no modelo SARIMA) nas mortes, seguida de -28% no Nordeste (ETS) em convergência as porcentagens nacionais de sinistros totais e com mortes que reduziram em torno de 18%.

Ao longo de 2020, percebe-se retorno progressivo nos números de sinistros totais a partir de julho, acompanhada de oscilações regionais nos sinistros com mortes. Entre agosto e dezembro, o Nordeste se destaca. No mês de novembro com uma elevação de 61% nas fatalidades (no modelo SARIMA) e 51% no ETS, destoando das outras regiões e da média nacional de sinistros e mortes. Em dezembro, além do Nordeste e Centro-Oeste, que permaneceram com crescentes elevações nos óbitos, atingindo +46% em dezembro segundo

SARIMA, o Sudeste também apresenta aumento expressivo de +48%. Por outro lado, o Norte e o Sul exibem maior instabilidade, ora com aumentos acentuados ora com quedas.

No ano de 2021, mesmo com novas ondas da pandemia e a manutenção de restrições em diversos estados, os sinistros totais voltam a crescer em vários meses (por exemplo, +19% em maio e +15% em julho) no Brasil. Nesses mesmos meses, todas as regiões tiveram aumento na porcentagem de sinistros com fatalidades. Destacam-se novamente, os altos percentuais de aumento no Centro-Oeste, que chegam a +98% em outubro de 2021 (SARIMA) mas que seguem com alta no modelo ETS também, superando os sinistros com mortes no Brasil. O mês de novembro 2021, apesar de apresentar redução nos sinistros totais no Brasil pelo modelo ETS, segue com alta nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (37%, 17% e 18%).

Em 2022, o padrão de flutuações se mantém. O mês de janeiro apresenta aumento de +89% nas mortes no Centro-Oeste (SARIMA), que segue nos meses seguintes de 2022, muito maior que a porcentagem de mortes no Brasil (12%), sinalizando que mesmo após os períodos críticos da pandemia, o impacto nos óbitos, não se atenuou significativamente em certas regiões.

Tabela 37 - Comparaçāo Percentual Sinistros Totais e Mortes por Região - SARIMA e ETS

SINISTROS E MORTES NAS REGIÕES							
ANO / MÊS	Sinistros Brasil	Mortes Brasil	Mortes Norte	Mortes Nordeste	Mortes Sul	Mortes Sudeste	Mortes Centro-Oeste
2020-03	-19%	-6%	13%	-10%	-12%	4%	-12%
2020-03	-19%	-6%	33%	-11%	-19%	8%	-12%
2020-04	-29%	-14%	-19%	-10%	-18%	-10%	13%
2020-04	-32%	-14%	-12%	-17%	-25%	-9%	23%
2020-05	-9%	-11%	-42%	-14%	21%	-20%	4%
2020-05	-20%	-14%	-37%	-24%	6%	-25%	4%
2020-06	-13%	-18%	-50%	-19%	-8%	-2%	2%
2020-06	-18%	-18%	-43%	-28%	-14%	-14%	6%
2020-07	-6%	-2%	11%	10%	6%	-5%	22%
2020-07	-14%	-2%	18%	1%	-3%	-21%	5%
2020-08	5%	3%	-3%	11%	-4%	10%	41%
2020-08	-3%	4%	11%	8%	-16%	9%	33%
2020-09	5%	11%	-21%	26%	3%	35%	16%
2020-09	-3%	12%	-14%	20%	-8%	32%	16%
2020-10	12%	18%	24%	41%	19%	8%	42%
2020-10	4%	10%	16%	13%	7%	-6%	28%
2020-11	7%	18%	13%	61%	14%	2%	23%
2020-11	0%	20%	13%	55%	11%	-11%	23%
2020-12	0%	24%	21%	46%	14%	48%	46%
2020-12	-7%	10%	17%	11%	-10%	10%	13%
2021-01	6%	16%	19%	31%	26%	11%	-14%
2021-01	-7%	13%	28%	24%	26%	0%	-19%
2021-02	1%	-12%	-14%	-7%	-15%	-24%	24%
2021-02	-7%	-10%	4%	-9%	-15%	-14%	27%

2021-03	-12%	-3%	-16%	6%	-10%	-5%	35%
2021-03	-19%	-4%	0%	2%	-22%	-9%	25%
2021-04	-2%	-7%	30%	-4%	5%	0%	-24%
2021-04	-15%	-8%	52%	-13%	-10%	-4%	-19%
2021-05	19%	5%	16%	10%	14%	9%	11%
2021-05	-4%	1%	32%	-3%	-1%	-1%	13%
2021-06	6%	-3%	10%	5%	16%	2%	-10%
2021-06	-7%	-4%	26%	-5%	1%	-11%	-12%
2021-07	15%	16%	32%	28%	30%	46%	2%
2021-07	-2%	12%	41%	16%	11%	9%	-15%
2021-08	12%	4%	-13%	-6%	23%	29%	43%
2021-08	-3%	3%	0%	-13%	1%	17%	32%
2021-09	7%	7%	-33%	15%	28%	14%	49%
2021-09	-8%	4%	-27%	-3%	11%	3%	37%
2021-10	13%	23%	21%	29%	17%	16%	98%
2021-10	-2%	15%	17%	13%	3%	3%	68%
2021-11	1%	-3%	37%	17%	-1%	-6%	18%
2021-11	-11%	-3%	41%	5%	-8%	-21%	12%
2021-12	3%	19%	41%	29%	33%	46%	51%
2021-12	-13%	3%	36%	-13%	3%	2%	6%
2022-01	6%	12%	-19%	24%	13%	0%	89%
2022-01	-14%	9%	-9%	12%	8%	-13%	54%
2022-02	4%	1%	-18%	-6%	11%	15%	31%
2022-02	-9%	3%	5%	-7%	8%	19%	25%

Fonte: A autora (2025)

4.10 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS E POR CAUSAS

A análise da variação percentual mensal entre março de 2020 e fevereiro de 2021 (Tabela 38) revela padrões distintos entre os sinistros totais nas rodovias federais brasileiras e aqueles atribuídos às causas específicas estudadas - falta de atenção e velocidade incompatível. Esses dados são particularmente relevantes à luz das restrições de mobilidade e do isolamento social implementados durante os meses mais críticos da pandemia.

Nos três primeiros meses (março a maio de 2020), as reduções nos sinistros totais foram evidentes, especialmente em abril para sinistros totais, por falta de atenção e por velocidade incompatível para ETS (-32%, -35% e -22%, respectivamente). Esse padrão reflete a forte redução da circulação viária devido ao *lockdown*, fechamento de atividades não essenciais e restrições de deslocamento em todo o território nacional.

Em relação aos sinistros por falta de atenção, os dados mostram que a queda em março e abril foi proporcional aos sinistros totais (-17% e -29% respectivamente), sugerindo inicialmente uma relação direta com a redução de tráfego. No entanto, a partir de junho, essa associação começa a se distanciar. Enquanto os sinistros totais mantêm valores negativos ou próximos da estabilidade, os sinistros por falta de atenção apresentam aumentos crescentes,

alcançando +14% em setembro, +17% em outubro e 16% em novembro, pelo SARIMA. Esse comportamento pode estar relacionado ao retorno gradual da circulação em rodovias, associado à fadiga da população à pandemia e ao relaxamento da atenção por parte dos condutores, em um contexto ainda de risco.

Os sinistros por velocidade incompatível apresentam um padrão parecido com o de sinistros por falta de atenção, que apresentaram redução perceptível nos primeiros meses de 2020. No entanto, nos meses subsequentes houve aumento expressivo, atingindo +33% em outubro e +34% em dezembro. Em janeiro de 2021, o aumento chega a +67%, reforçando a hipótese de que, com o tráfego mais livre e menor presença de fiscalização (ou percepção disso), muitos condutores passaram a adotar comportamentos de risco, como o excesso de velocidade. Em comparação às porcentagens de sinistros no Brasil, que seguiram um comportamento com oscilações sem grande crescimento ou redução, os sinistros por velocidade incompatível superaram este padrão, sugerindo uma adaptação negativa ao contexto pandêmico, onde menores volumes de tráfego não conduziram a uma maior segurança, mas sim ao agravamento de comportamentos, já críticos.

Finalmente, a análise revela que, apesar da redução inicial dos sinistros totais nas rodovias federais durante os períodos mais restritivos da pandemia, os sinistros relacionados à falta de atenção e principalmente à velocidade incompatível apresentaram comportamentos de resistência e até crescimento, independentemente do volume de tráfego.

Tabela 38 - Comparação Percentual Sinistros Totais, por Falta de Atenção e Velocidade incompatível Brasil - SARIMA e ETS

ANO / MÊS	Sinistros Brasil	Sinistros por Falta de Atenção Brasil	Sinistros por Velocidade Incompatível Brasil
2020-03	-19%	-17%	-10%
2020-03	-19%	-19%	-18%
2020-04	-29%	-29%	-9%
2020-04	-32%	-35%	-22%
2020-05	-9%	-8%	32%
2020-05	-20%	-20%	3%
2020-06	-13%	-8%	19%
2020-06	-18%	-15%	-4%
2020-07	-6%	0%	16%
2020-07	-14%	-9%	-3%
2020-08	5%	10%	2%
2020-08	-3%	3%	6%
2020-09	5%	14%	15%
2020-09	-3%	8%	-1%
2020-10	12%	17%	33%
2020-10	4%	11%	3%
2020-11	7%	16%	5%
2020-11	0%	13%	-16%
2020-12	0%	14%	34%
2020-12	-7%	1%	-6%
2021-01	6%		67%
2021-01	-7%		22%
2021-02	1%		38%
2021-02	-7%		16%

Fonte: A autora (2025)

4.11 COMPARAÇÃO PERCENTUAL: SINISTROS TOTAIS E MORTES POR CAUSAS NO BRASIL

Os dados percentuais apresentados na Tabela 39, revelam as variações mensais nos sinistros totais e nas mortes, com recortes específicos para as causas de falta de atenção e velocidade incompatível. O ano de 2020 é marcado por flutuações significativas, especialmente nos meses iniciais da pandemia, período em que medidas de isolamento social e restrições de mobilidade foram intensamente aplicadas em todo o país.

No mês de março de 2020, os sinistros totais apresentaram redução de 19%, e as mortes por todas as causas caíram 6%, refletindo o início das restrições. As mortes por falta de atenção também apresentaram queda acentuada, de até 23%, o que sugere um impacto direto da menor circulação de veículos. Em abril, com o auge das medidas de isolamento, a redução foi ainda mais expressiva: 29% nos sinistros totais e 14% nas mortes, com quedas adicionais nas mortes por falta de atenção (-27%) e estabilidade nas decorrentes de velocidade incompatível (0%).

Contudo, nos meses seguintes, observa-se um retorno gradativo nos índices. A partir de junho de 2020, os sinistros totais e as mortes, ainda se mantinham abaixo dos níveis esperados. No entanto, as mortes por velocidade incompatível passaram a apresentar crescimento, chegando a +22% em junho, +24% em julho e +28% em agosto, mesmo com os sinistros totais ainda retraídos. Este comportamento indica que, mesmo com menor volume de tráfego, a gravidade dos sinistros aumentou, possivelmente, em função de comportamentos de risco, como o excesso de velocidade em vias mais livres.

Um padrão semelhante é observado nas mortes por falta de atenção: em julho e agosto de 2020, os percentuais passaram a crescer (21% e 6%, respectivamente), acompanhando a retomada da circulação. Em dezembro de 2020, verifica-se um pico nas mortes por falta de atenção (+46%) e velocidade incompatível (+33%), sugerindo que o relaxamento das medidas de contenção e o aumento da mobilidade no fim de ano, contribuíram para o agravamento dos sinistros fatais por causas comportamentais.

Durante os dois primeiros meses de 2021, os dados disponíveis indicam a continuidade da tendência observada: enquanto os sinistros totais registram variações modestas, os sinistros com mortes por causas específicas se mantêm voláteis. Por exemplo, em fevereiro de 2021, embora os sinistros totais tenham crescido apenas 1%, as mortes por velocidade incompatível caíram 13%, o que pode estar relacionado a novas ondas de restrição em algumas regiões.

De forma geral, os dados reforçam a hipótese de que, apesar das restrições de mobilidade impostas pela pandemia, os sinistros e principalmente as mortes por causas associadas ao comportamento de risco continuaram a ocorrer, e em alguns períodos até se intensificaram.

Tabela 39 - Sinistros Totais e Mortes por Causas no Brasil

ANO / MÊS	Sinistros Brasil	Mortes Brasil	Mortes por Falta de Atenção	Mortes por Velocidade Incompatível
2020-03	-19%	-6%	-19%	-18%
2020-03	-19%	-6%	-20%	-23%
2020-04	-29%	-14%	-17%	-15%
2020-04	-32%	-14%	-27%	0%
2020-05	-9%	-11%	-10%	-10%
2020-05	-20%	-14%	-30%	-3%
2020-06	-13%	-18%	-17%	2%
2020-06	-18%	-18%	-26%	22%
2020-07	-6%	-2%	21%	-24%
2020-07	-14%	-2%	7%	-21%
2020-08	5%	3%	6%	7%
2020-08	-3%	4%	-15%	28%
2020-09	5%	11%	32%	10%
2020-09	-3%	12%	19%	15%
2020-10	12%	18%	10%	-3%
2020-10	4%	10%	-1%	-5%
2020-11	7%	18%	45%	-24%
2020-11	0%	20%	37%	-26%
2020-12	0%	24%	46%	33%
2020-12	-7%	10%	15%	4%
2021-01	6%	16%		3%
2021-01	-7%	13%		7%
2021-02	1%	-12%		-13%
2021-02	-7%	-10%		-10%

Fonte: A autora (2025)

4.12 ANÁLISE DO MODELO SARIMAX (MODELO AUTORREGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIAS MÓVEIS COM VARIÁVEIS EXÓGENAS)

A aplicação da função SARIMAX foi utilizada para testar o impacto da pandemia como variável exógena no comportamento dos sinistros nas rodovias federais brasileiras, conforme são ilustrados nas tabelas seguintes.

Adotou-se o nível de significância de 5%, como referência para a avaliação estatística dos coeficientes estimados. Portanto considera-se que para um p-valor menor do que 0,05, o efeito da pandemia (variável exógena) sobre a variável dependente é estatisticamente significativo e para o p-valor maior que 0,05, não há evidência suficiente para afirmar que o efeito da variável exógena é real.

A Tabela 40 apresenta os dados de sinistros totais no Brasil. O modelo SARIMAX estimou uma redução média de 1.030 sinistros por mês, durante o período pandêmico. Esse efeito apresentou um p-valor de 0,076, não significativamente superior ao nível de 5%. Assim, os resultados sugerem que houve uma tendência de queda nos sinistros, possivelmente relacionada as restrições impostas pela pandemia, porém, a evidência estatística não é significativa a 5%, para recusar a hipótese nula. Portanto, os dados sustentam a hipótese que a queda ocorreu, mas em números menores do que o esperado.

Tabela 40 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-1030.9	5773870	-17856	0.0762

Fonte: A autora (2025)

O modelo SARIMAX aplicado à série temporal de feridos graves estimou uma redução média de 387 ocorrências mensais durante o período da pandemia (coef. = -387,32; p = 0,0001). Esse resultado é estatisticamente significativo ao nível de 5%, e diferentemente do que se observou para o número de mortes ou para o total de sinistros, a pandemia teve um impacto claro na redução da gravidade moderada dos sinistros.

Tabela 41 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-387.3245	93.8152	-4.1286	0.0001

Fonte: A autora (2025)

Ao aplicar um modelo SARIMAX à série completa de mortes por sinistros no Brasil (2010–2022) (Tabela 42), não foi identificada uma redução estatisticamente significativa associada ao período pandêmico. Embora o coeficiente da *dummy* da pandemia tenha sido negativo (-25,02), significando que houve em média 25 mortes mensais no período pandêmico, o p-valor elevado (p = 0,428) indica que esse resultado pode ser atribuído ao acaso. Esse achado corrobora a hipótese de que, mesmo com as restrições de mobilidade, a pandemia não produziu um efeito substancial na diminuição da letalidade no trânsito brasileiro nas rodovias federais.

Tabela 42 - Dados de análise SARIMAX Mortes Totais Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-25.02	314757	-7050	0.4280

Fonte: A autora (2025)

No caso específico de sinistros atribuídos à falta de atenção (Tabela 43), o modelo SARIMAX estimou uma redução média de 344 ocorrências mensais durante a pandemia (coef.

= -343,88). No entanto, o p-valor associado ($p = 0,174$) indica que esse resultado também não é estatisticamente significativo.

Essa ausência de significância pode ser interpretada à luz da natureza comportamental dessa causa. A falta de atenção no trânsito está frequentemente relacionada a fatores individuais e psicológicos, como uso de celular, fadiga, estresse, desatenção mental, entre outros. Diferentemente de outras causas estruturais (como volume de tráfego ou condições viárias), os comportamentos distraídos podem persistir, mesmo quando há menos veículos nas ruas.

Tabela 43 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-343,8	251.3571	-1.3681	0.1737

Fonte: A autora (2025)

No modelo SARIMAX ajustado à série de mortes causadas por falta de atenção (Tabela 44), a variável indicadora da pandemia apresentou coeficiente de -15,36, sugerindo uma possível redução média de 15 óbitos mensais nesse período. No entanto, esse resultado não é estatisticamente significativo, de acordo com o p-valor 0,352, o que indica ausência de evidência robusta de que a pandemia tenha impactado diretamente esse tipo de desfecho.

É importante levar em consideração que a falta de atenção é um fator comportamental. Durante a pandemia, inclusive, o aumento do estresse, da ansiedade e das entregas por aplicativos pode ter mantido ou até elevado o risco associado à desatenção ao volante. Isso ajuda a explicar a manutenção dos padrões de mortalidade, mesmo com redução geral da circulação.

Tabela 44 - Dados de análise SARIMAX Mortes por Falta de Atenção Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-15.4	16.4551	-0.9335	0.3524

Fonte: A autora (2025)

O modelo SARIMAX para sinistros por velocidade incompatível (Tabela 45), estima um aumento médio de 12% de sinistros por mês causados por velocidade incompatível durante a pandemia. Contudo, o p-valor (0,899) revela ausência total de significância estatística, impedindo qualquer inferência confiável sobre a existência de um efeito da pandemia nesse tipo específico de ocorrência.

Tabela 45- Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	11.84	92.9429	0.1274	0.8988

Fonte: A autora (2025)

A análise do modelo SARIMAX para mortes causadas por velocidade incompatível (Tabela 46) indicou uma possível redução média de sete óbitos mensais durante o período pandêmico. No entanto, o resultado não se mostrou estatisticamente significativo ($p = 0,480$), o que impede concluir que a pandemia tenha tido um impacto efetivo sobre a redução desse tipo de fatalidade. Desta forma, é possível inferir que apesar das restrições do período pandêmico, mortes por velocidade incompatível continuaram com o comportamento pré-pandêmico.

Tabela 46 - Dados de análise SARIMAX Mortes por Velocidade Incompatível Brasil

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-7.0639	9.9809	-0.7077	0.4804

Fonte: A autora (2025)

4.12.1 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Norte

Na região Norte, o modelo SARIMAX indicou um aumento médio de 13,5 sinistros mensais durante o período da pandemia (Tabela 47). No entanto, esse resultado apresentou um p-valor elevado (0,718), demonstrando falta total de significância estatística. O efeito estimado é extremamente incerto e, portanto, não é possível afirmar que a pandemia tenha impactado o número de sinistros na região Norte.

É possível que, na região Norte, aspectos logísticos e operacionais locais, como a manutenção da atividade em corredores de transporte, rotas fluviais e carência de fiscalização, tenham neutralizado qualquer impacto esperado das restrições de mobilidade. Além disso, oscilações naturais nos registros de sinistros podem mascarar possíveis efeitos reais da pandemia.

Tabela 47- Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Norte

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	13,5	37.3982	0.3620	0.7179

Fonte: A autora (2025)

O modelo ajustado para feridos graves na região Norte estimou um acréscimo médio de aproximadamente 12 ocorrências mensais durante o período pandêmico (Tabela 48). No entanto, o p-valor de 0,379 indica falta de significância estatística, impossibilitando afirmar que a pandemia tenha impactado significativamente esse indicador na região.

O comportamento do número de feridos graves na região Norte não apresentou alteração estatisticamente relevante durante a pandemia, o que pode refletir tanto a manutenção de padrões comportamentais arriscados quanto uma menor efetividade das restrições de circulação nessa região. Fatores como menor fiscalização, transporte essencial mantido e deslocamentos regionais podem ter contribuído para a resiliência dos níveis de gravidade dos sinistros mesmo em um contexto de pandemia.

Tabela 48 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Norte

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	11.9	13.5797	0.8817	0.3794

Fonte: A autora (2025)

Na análise das mortes por sinistros na região Norte (Tabela 49), o modelo estimou uma leve redução de 1,22 óbitos mensais durante o período pandêmico. No entanto, esse resultado não apresentou significância estatística ($p = 0,678$), o que indica ausência de evidência robusta de que a pandemia tenha impactado a redução desse indicador na região.

A permanência dos níveis de mortalidade no trânsito da região Norte durante a pandemia pode estar relacionada à manutenção da circulação de veículos em rodovias essenciais, baixa cobertura de fiscalização, ou menor adesão às restrições. Tais fatores podem ter limitado o impacto das medidas de isolamento sobre os sinistros com vítimas fatais.

Mesmo com a pandemia, as mortes no trânsito da região Norte não apresentaram redução estatisticamente significativa, contrariando expectativas de queda devido à menor mobilidade, dessa forma, o resultado reforça a hipótese desta tese.

Tabela 49 - Dados de análise SARIMAX Mortes Norte

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-1,2	2.92	-0.4166	0.6776

Fonte: A autora (2025)

Na região Norte, o modelo para sinistros atribuídos à falta de atenção (Tabela 50) estimou uma queda média de 4,03 ocorrências mensais no período da pandemia. Contudo, essa redução não é estatisticamente significativa ($p = 0,876$), e o alto erro padrão ($\pm 25,86$), evidencia a grande incerteza do efeito estimado. Portanto, não se pode afirmar que a pandemia tenha influenciado esse tipo específico de causa de sinistro na região. É necessário lembrar também, que a falta de atenção é um fator comportamental e não necessariamente reduzido por menores valores de tráfego. Além disso, a grande variabilidade observada nos dados da região Norte limita a precisão do modelo.

Tabela 50 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Norte

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-4.0	25.8550	-0.1560	0.8763

Fonte: A autora (2025)

A análise do modelo para sinistros por velocidade incompatível (Tabela 51), indicou uma redução média de 1,1 ocorrência mensal durante a pandemia. No entanto, com p-valor de 0,806 e alto erro padrão, o resultado não é estatisticamente significativo, impossibilitando qualquer inferência robusta sobre a influência da pandemia na redução deste tipo de sinistro.

A ausência de significância estatística pode indicar que os comportamentos relacionados ao excesso de velocidade persistiram ou não foram afetados diretamente pelas restrições de mobilidade. É possível também que a menor presença de fiscalização, aliada à manutenção de deslocamentos essenciais, tenha mantido os padrões de risco mesmo durante o período pandêmico.

Tabela 51 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Norte

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-1.0	4.4557	-0.2463	0.8059

Fonte: A autora (2025)

4.12.2 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Nordeste

O modelo SARIMAX indicou uma redução média de 171 sinistros mensais durante o período pandêmico, para sinistros na região Nordeste (Tabela 52). Apesar da magnitude do coeficiente, o resultado não é estatisticamente significativo ($p = 0,230$), o que impede a conclusão de que a pandemia tenha influenciado, de forma robusta, a diminuição do número de sinistros na região.

A ausência de significância estatística pode ser explicada por fatores como variações internas entre os estados da região Nordeste, diferenças no cumprimento das medidas de isolamento e heterogeneidade nos padrões de tráfego. Embora a estimativa aponte para uma tendência de queda, a elevada variabilidade impede a confirmação desse efeito com segurança estatística.

Tabela 52 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Nordeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-170,9	141.713	-1.2063	0.2297

Fonte: A autora (2025)

O modelo estima uma redução média de 63,86 ocorrências de feridos graves por mês na região Nordeste durante a pandemia (Tabela 53). Esse resultado apresentou um p-valor de 0,054, significando que este valor está muito próximo do limiar tradicional de 5%, ou seja, pode-se aceitá-lo como significativo, não se descartando o seu efeito. Assim, há indícios de que a pandemia pode ter contribuído para a redução do número de feridos graves.

Tabela 53 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Nordeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-63.86	32.9029	-1.9408	0.0543

Fonte: A autora (2025)

O modelo SARIMAX aplicado às mortes no trânsito na região Nordeste indicou uma leve elevação de 5,8 óbitos mensais durante o período pandêmico (Tabela 54). Contudo, esse resultado não foi estatisticamente significativo ($p = 0,640$), o que impede qualquer conclusão robusta sobre o impacto da pandemia sobre a mortalidade no trânsito dessa região.

Tabela 54 - Dados de análise SARIMAX Mortes Nordeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	5.79	12.3654	0.4683	0.6403

Fonte: A autora (2025)

O modelo para sinistros atribuídos à falta de atenção na região Nordeste sugeriu uma redução média de 54 ocorrências mensais durante a pandemia (Tabela 55). No entanto, esse resultado não apresentou significância estatística ($p = 0,41$), indicando que não há evidência robusta de que a pandemia tenha alterado significativamente esse tipo de accidentalidade.

A ausência de significância estatística pode indicar que sinistros por esta causa, de natureza comportamental, não foram diretamente impactados pelas restrições de mobilidade impostas durante a pandemia. Isso reforça que os comportamentos de risco, como a distração ao volante podem persistir mesmo em contextos de menor tráfego.

Tabela 55 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Nordeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-53.98	65.2629	-0.8272	0.4097

Fonte: A autora (2025)

A estimativa do modelo apontou para um aumento médio de 6,4 sinistros por mês durante a pandemia. No entanto, essa estimativa não foi estatisticamente significativa,

apresentando um p-valor de 0,6714, um erro padrão elevado ($\pm 15,05$) e um t-valor de apenas 0,43, indicando grande incerteza na estimativa e ausência de evidência robusta de mudança estrutural na série. Ou seja, apesar da estimativa não ser significativa, ainda sim a hipótese deste estudo é confirmada, visto que os sinistros por velocidade incompatível estão relacionados aos comportamentos como: imprudência, excesso de velocidade e outros, que são fatores que não necessariamente são impactados com a redução de tráfego nas rodovias.

Tabela 56 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Nordeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	6.3993	15.0528	0.4251	0.6714

Fonte: A autora (2025)

4.12.3 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Sudeste

O modelo estimou uma redução média de 227 sinistros por mês durante o período pandêmico. No entanto, esse resultado não é estatisticamente significativo visto que o p-valor é de 0,2140, sugerindo grande incerteza na estimativa e ausência de evidência robusta de que essa queda tenha sido provocada diretamente pela pandemia. Ou seja, o alto p-valor sugere que o resultado pode ser fruto da variabilidade aleatória da série temporal.

Tabela 57 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Sudeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-226.9	181.8107	-1.2482	0.2140

Fonte: A autora (2025)

No caso da região Sudeste, os resultados obtidos por meio do modelo SARIMAX indicam que o número de feridos graves em sinistros rodoviários federais apresentou uma redução estatisticamente significativa durante o período pandêmico. A variável *dummy*, que representa o período da pandemia, apresentou coeficiente estimado correspondente a uma queda média mensal de aproximadamente 82 feridos graves com um p-valor de 0,0173 (Tabela 58). Esse resultado sugere que, diferentemente de outras regiões ou categorias de accidentalidade, a pandemia teve impacto mensurável e relevante sobre a redução na gravidade dos sinistros registrados na região Sudeste.

Tabela 58 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Sudeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-82.3	34.1792	-2.4076	0.0173

Fonte: A autora (2025)

O modelo indica que a variável *dummy* foi estimada em -60,8, sugerindo uma redução média de aproximadamente 61 sinistros por mês por falta de atenção durante a pandemia.

Contudo, o p-valor associado (0,3782) indica que tal redução não é estatisticamente significativa, com um erro padrão elevado ($\pm 68,74$) e um t-valor baixo (-0,88). Esses valores sugerem que a variação observada pode ser atribuída a flutuações aleatórias da série temporal e não a um efeito de redução direto da pandemia.

Apesar da estimativa negativa para o impacto da pandemia nos sinistros por falta de atenção, os resultados não apresentam evidência estatística robusta que permita concluir pela existência de um efeito estatisticamente significativo.

Tabela 59 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Sudeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-60.8	68.7376	-0.8844	0.3782

Fonte: A autora (2025)

O modelo SARIMAX para a causa velocidade incompatível indica um aumento médio de aproximadamente 29 sinistros por mês durante o período pandêmico. No entanto, esse efeito não é estatisticamente significativo, considerando o p-valor = 0,6178 (Tabela 60). Sendo assim, é possível inferir que a pandemia não causou efeito significativo para o aumento ou redução no número de sinistros por velocidade incompatível.

Tabela 60 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Sudeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	29.4	58.8629	0.5003	0.6178

Fonte: A autora (2025)

4.12.4 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Centro-Oeste

O modelo SARIMAX estimou que, durante o período da pandemia, houve uma redução média de aproximadamente 91 sinistros totais por mês nas rodovias federais da região Centro-Oeste (Tabela 61). No entanto, essa estimativa não apresentou significância estatística ao nível de 5%, dado que o p-valor associado ao coeficiente da variável *dummy* foi de 0,1356.

Como o p-valor (0,1356) é maior que o nível de significância de 5%, não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que a pandemia tenha tido um efeito significativo sobre a redução do número de sinistros totais nessa região.

Tabela 61 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Centro-Oeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-91.0	60.6350	-1.5008	0.1356

Fonte: A autora (2025)

No modelo SARIMAX, estimado para a série temporal de feridos graves na região Centro-Oeste, a variável *dummy* representando o período da pandemia apresentou coeficiente estimado de -25,16 (Tabela 62), sugerindo uma redução média de aproximadamente 25 feridos graves por mês durante o período pandêmico.

No entanto, o p-valor associado a esse coeficiente foi de 0,2002, o que excede o nível de significância estatística de 5%. Isso implica que não há evidência estatística robusta de que a pandemia tenha causado uma redução significativa no número de feridos graves.

A ausência de significância estatística para a variável de intervenção sugere que os sinistros com vítimas graves seguiram ocorrendo em patamares compatíveis com os anos anteriores, mesmo diante de um cenário de restrições à mobilidade e alteração nas dinâmicas de circulação.

Tabela 62 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Centro-Oeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-25.16	19.5502	-1.2871	0.2002

Fonte: A autora (2025)

A variável *dummy* incorporada ao modelo SARIMAX, apresentou coeficiente estimado de +4,53, indicando um aumento médio de aproximadamente 4,5 mortes por mês nas rodovias federais da região Centro-Oeste durante o período pandêmico (Tabela 63).

Apesar da estimativa positiva, o p-valor associado ao coeficiente foi de 0,4642, o que está muito acima do nível de significância estatística de 5%. Portanto, não há evidência suficiente para afirmar que a pandemia teve impacto estatisticamente significativo sobre o número de mortes registradas na região.

Tabela 63 - Dados de análise SARIMAX Mortes Centro-Oeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	4.5	6.1768	0.7339	0.4642

Fonte: A autora (2025)

A variável *dummy* que representa o período da pandemia apresentou um coeficiente estimado de -19,47, sugerindo uma redução média de aproximadamente 19 sinistros por mês atribuídos à falta de atenção durante a pandemia. No entanto, o p-valor associado foi de 0,5688 (Tabela 64), o que está substancialmente acima do nível de significância estatística de 5%.

Desta forma, não há evidência estatisticamente significativa de que a pandemia tenha tido impacto sobre a redução do número de sinistros por falta de atenção na região Centro-Oeste.

No caso específico da falta de atenção, trata-se de um fator de natureza comportamental, muitas vezes independente do volume de tráfego. Assim, a redução na circulação de veículos, pode não ter sido suficiente, para impactar significativamente esse tipo de ocorrência, o que se reflete na ausência de significância estatística do coeficiente da variável.

Tabela 64 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Centro-Oeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-19.5	34.0775	-0.5713	0.5688

Fonte: A autora (2025)

O modelo SARIMAX apresentou coeficiente estimado de -4,53, sugerindo uma redução média de cerca de 4,5 sinistros por mês relacionados à velocidade incompatível durante o período pandêmico (Tabela 65). Entretanto, o p-valor associado ao coeficiente foi de 0,6824, indicando que essa estimativa não é estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Como o p-valor (0,6824) é consideravelmente superior a 0,05, não se pode afirmar que a pandemia tenha tido um efeito estatisticamente significativo sobre os sinistros causados por velocidade incompatível.

Esse resultado reforça a hipótese do presente estudo de que os sinistros continuaram ocorrendo em níveis elevados durante a pandemia, mesmo diante das restrições à mobilidade. No caso específico dos sinistros por velocidade incompatível, é possível que a redução no volume de tráfego tenha, paradoxalmente, incentivado comportamentos de risco, como o aumento da velocidade, o que pode ter neutralizado eventuais efeitos esperados de redução.

Tabela 65 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Centro-Oeste

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-4.5	11.0446	-0.4103	0.6824

Fonte: A autora (2025)

4.12.5 Análise do Modelo SARIMAX para a Região Sul

No modelo SARIMAX ajustado para a série de sinistros totais na região Sul, o coeficiente estimado da variável *dummy* foi de -354,02, indicando uma redução média de 354 sinistros por mês durante o período pandêmico em comparação ao período anterior (Tabela 66).

Entretanto, o p-valor associado ao coeficiente foi de 0,1219, o que está acima do nível de significância estatística de 5%. Assim, não se pode afirmar com confiança estatística que a pandemia tenha causado uma redução significativa no número total de sinistros na região Sul.

Pode-se inferir que, apesar das restrições impostas pela pandemia, os sinistros continuaram a ocorrer em patamares elevados nas rodovias federais da região Sul.

Tabela 66 - Dados de análise SARIMAX Sinistros Totais Sul

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-354	227.5012	-1.5561	0.1219

Fonte: A autora (2025)

A estimativa do modelo SARIMAX para os feridos graves na região Sul revelou uma redução média de aproximadamente 144 feridos graves por mês no período pandêmico (Tabela 67), em comparação com os meses anteriores.

Importante destacar que o p-valor associado a esse coeficiente foi de 0,0001, valor que está muito abaixo do nível de significância estatística de 5%. Indicando que a redução observada é estatisticamente significativa, ou seja, há forte evidência de que a pandemia impactou de forma relevante a redução do número de feridos graves nas rodovias federais da região Sul.

A redução foi não apenas expressiva em termos absolutos, mas também estatisticamente significativa ao nível de 5%, sugerindo que as restrições de mobilidade impostas durante a pandemia contribuíram de fato para a diminuição desse tipo de ocorrência.

Tabela 67 - Dados de análise SARIMAX Feridos Graves Sul

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-143.9	35.5319	-4.0493	0.0001

Fonte: A autora (2025)

A estimativa do modelo SARIMAX sugere uma redução média de aproximadamente 6,5 mortes por mês nas rodovias federais da região Sul durante a pandemia. Contudo, o p-valor associado a esse coeficiente foi de 0,5457, valor que está bem acima do nível de significância estatística de 5%.

Com isso, não há evidência estatística suficiente para afirmar que a pandemia tenha impactado de forma significativa na redução de mortes na região, ou seja, a redução observada no número de mortes, embora estimada, não é estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Tabela 68 - Dados de análise SARIMAX Mortes Sul

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-6.5	10.6956	-0.6057	0.5457

Fonte: A autora (2025)

No modelo SARIMAX ajustado, o coeficiente associado à variável *dummy* referente ao período da pandemia foi de -162,61, sugerindo uma redução média de aproximadamente 163 sinistros por mês durante o período pandêmico em relação ao período anterior (Tabela 69).

Apesar dessa redução média estimada, o p-valor correspondente foi de 0,1303, o que está acima do nível de significância estatística de 5%. Dessa forma, não se pode concluir, com base no modelo, que a pandemia teve um efeito estatisticamente significativo sobre a redução de sinistros por falta de atenção na região Sul.

Tabela 69 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Falta de Atenção Sul

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-162.6	106.7903	-1.5227	0.1303

Fonte: A autora (2025)

No modelo estimado para os sinistros atribuídos à velocidade incompatível, o coeficiente associado à variável *dummy* da pandemia foi de -9,12, o que indica uma redução média estimada de aproximadamente 9 sinistros por mês durante o período pandêmico Tabela 70).

No entanto, o p-valor correspondente foi de 0,8560, valor muito acima do nível de significância estatística de 5%, demonstrando que não há evidência estatística de que a pandemia tenha tido impacto significativo na quantidade de sinistros por velocidade incompatível na região Sul.

A velocidade incompatível, enquanto conduta imprudente, parece não ter sido mitigada pelas restrições de circulação impostas no contexto pandêmico, o que sugere que comportamentos arriscados no trânsito continuaram presentes mesmo em um cenário de menor fluxo rodoviário.

Tabela 70 - Dados de análise SARIMAX Sinistros por Velocidade Incompatível Sul

	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Xreg	-9.1	50.1649	-0.1818	0.8560

Fonte: A autora (2025)

O próximo capítulo, traz as conclusões a que se chegaram a partir dos dados analisados neste estudo.

5 CONCLUSÕES

Esta tese teve como ponto de partida o seguinte problema de pesquisa: embora as restrições impostas pelo período pandêmico tenham reduzido o fluxo de veículos nas rodovias federais, possivelmente não resultaram em diminuição proporcional na quantidade e gravidade dos sinistros. Além disso, a literatura consultada evidenciou a escassez de estudos voltados ao impacto da pandemia de Covid-19 sobre sinistros rodoviários na América do Sul, o que reforça a relevância da investigação aqui empreendida.

O objetivo geral foi plenamente alcançado, pois foi possível analisar os sinistros ocorridos nas rodovias federais brasileiras antes e durante os períodos de maior impacto da pandemia, considerando tanto a quantidade quanto a gravidade dos eventos. Essa análise foi realizada mediante a integração entre previsões de séries temporais, dados da evolução da Covid-19 e informações sobre o tráfego rodoviário médio no período.

Como resposta a primeira pergunta de pesquisa: Quais foram os impactos da pandemia na quantidade de sinistros rodoviários e em seus diferentes graus de severidade, ocorridos nas rodovias federais brasileiras, levando em conta as variações de volume de tráfego e a evolução da pandemia de Covid-19? Os resultados percentuais indicaram que, embora tenha havido redução dos sinistros durante as fases de maior restrição social, a relação entre o número de óbitos e o volume de tráfego revela que não ocorreu diminuição significativa nas fatalidades. Observou-se que, após a queda inicial no tráfego em decorrência das medidas de isolamento social, o fluxo retornou rapidamente aos níveis anteriores, mesmo com o país ainda vivenciando a fase crítica da pandemia, caracterizada por elevados índices de casos e mortes.

Para a segunda pergunta: Como se distribuiu o impacto da pandemia nos diferentes tipos e causas de sinistros rodoviários? Houve redução nos sinistros totais, possivelmente devido as restrições de isolamento principalmente nos períodos críticos da pandemia. Quanto as mortes, foi notório que a previsão não foi acompanhada pelos acontecimentos reais, ou seja, ocorreram mais óbitos do que se esperava para o período atípico, ao contrário do que ocorreu com os dados para feridos graves onde não houve grandes diferenças do previsto para o real. Para as principais causas, a precisão da previsão ficou comprometida visto que a disponibilidade de dados foi de apenas um ano, porém, foi possível analisar que tanto para sinistros quanto para óbitos por falta de atenção houve uma crescente divergindo de períodos anteriores; e para velocidade incompatível os achados seguiram a tendência dos anos anteriores.

Na comparação entre regiões, verificou-se que, apesar da queda geral no número de sinistros, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, as taxas de mortalidade oscilaram de

forma mais acentuada que nas demais. A partir de junho de 2020, com o relaxamento das medidas restritivas, registrou-se aumento expressivo nas mortes em regiões como Nordeste e Centro-Oeste.

Outro achado relevante foi o comportamento dos sinistros por falta de atenção e por velocidade incompatível, que, a partir de junho de 2020, apresentaram elevação significativa, divergindo da tendência dos sinistros totais. Esse padrão sugere que, com as vias mais livres e menor presença de fiscalização, alguns condutores adotaram comportamentos de risco. Ademais, a fadiga social provocada pelo prolongamento da pandemia pode ter contribuído para o relaxamento da atenção ao volante. O mesmo padrão foi observado na análise das fatalidades associadas a essas causas.

No que tange à comparação entre os modelos de previsão, o ETS apresentou melhor ajuste para a maioria das variáveis, com valores de MAPE dentro da margem de excelência, enquanto o SARIMA, embora não tenha atingido tal margem em alguns casos, apresentou precisão considerada ótima ou boa. O modelo SARIMAX, ao utilizar o período pandêmico como variável exógena, permitiu corroborar e refinar os resultados obtidos, destacando que, em algumas situações, como nos feridos graves em nível nacional e nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste, houve redução significativa, divergindo parcialmente da hipótese inicial, mas convergindo com a expectativa decorrente da redução do tráfego. Para as demais variáveis, os p-valores não foram significativos, sustentando a hipótese de que a pandemia exerceu impacto relevante sobre a ocorrência e gravidade dos sinistros.

Assim, conclui-se que a hipótese foi parcialmente confirmada: embora para determinadas variáveis o período pandêmico tenha provocado redução nos indicadores, para a maioria manteve-se o padrão anterior ou houve agravamento, mesmo diante das restrições impostas.

Para pesquisas futuras, recomenda-se explorar outras variáveis disponíveis na base da PRF, como por exemplo, o perfil demográfico, investigar diferenças entre de veículos, as categorias de sinistros, e ainda analisar o comportamento dos sinistros no período pós-pandemia, a fim de verificar se os indicadores retornaram aos patamares anteriores. Sugere-se também testar modelos multivariados para causa e efeito, modelos mais complexos de previsão para dados de contagem e, ainda métodos de *machine learning*. Outra possibilidade, está em fazer integração dos dados da PRF com dados hospitalares do SIM.

Por fim, a contribuição inovadora deste estudo reside na comparação sistemática entre dados reais e previsões para o período pandêmico nas rodovias federais do Brasil, buscando auxiliar o preenchimento da lacuna apontada por Marshall, Shirazi e Ivan (2023) acerca da carência de estudos

sobre o impacto da pandemia na América do Sul. Além disso, o trabalho pode fornecer subsídios para diretrizes acerca de sinistros rodoviários para eventuais surtos pandêmicos futuros, considerando os resultados que apontam que apesar da criticidade no momento pandêmico, a mortalidade e gravidade dos sinistros não foi reduzida na medida esperada.

REFERÊNCIAS

- ABDELGHANY, A. *et al.* Unraveling endogeneity in seat capacity and Fares: Time series econometric models for airline origin-destination passengers forecasting. **Journal of Air Transport Management**, [s. l.], v. 128, p. 102832, 2025.
- ADANU, E. K. *et al.* How did the COVID-19 pandemic affect road crashes and crash outcomes in Alabama?. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 163, p. 106428, 2021.
- AL-HUSSEIN, W. A. *et al.* Investigating the Effect of COVID-19 on Driver Behavior and Road Safety: A Naturalistic Driving Study in Malaysia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 18, p. 11224, 2022.
- ANDRADE, F. R. de; ANTUNES, J. L. F. Tendência do número de vítimas em acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras antes e depois da Década de Ação pela Segurança no Trânsito. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 35, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csp/a/8pzzS3xfgQ4VYXdw7WCSLns/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- ARUN PATHAK, A.; CHANDRASEKARAN, S.; ANNAMALAI, B. Analysis of Motor Vehicle Accidents: Comparison Between Before and During the COVID-19 Lockdown in Maharashtra, India. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 2677, n. 4, p. 503–516, 2023.
- BIFFE, C. R. F. *et al.* Perfil epidemiológico dos acidentes de trânsito em Marília, São Paulo, 2012*. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 389–398, 2017.
- BISGAARD, S.; KULAHCI, M. **Time Series Analysis and Forecasting by example**. [S. l.]: [s. d.], 2011.
- BOX, G. E.; JENKINS, G. M. **Time series analysis: Forecasting and control San Francisco**. [S. l.]: [s. d.], 1976.
- BRASIL. **Estatísticas - Frota de Veículos: Dados de 2025**. [S. l.]: [s. d.], 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2025>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- CALVO-POYO, F.; NAVARRO-MORENO, J.; DE OÑA, J. Road Investment and Traffic Safety: An International Study. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 16, p. 6332, 2020.
- CARMO, C. L. D. **SEGURANÇA VIÁRIA EM TRECHOS URBANOS DE RODOVIAS FEDERAIS**. 2019. 177 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.
- CARVALHO, C. H. R. MORTALIDADE POR ACIDENTES DE TRANSPORTE TERRESTRE E DESIGUALDADES INTERESTADUAIS NO BRASIL. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, [s. l.], n. 67, p. 7–10, 2022.
- CHAND, S. *et al.* A Descriptive Analysis on the Impact of COVID-19 Lockdowns on Road Traffic Incidents in Sydney, Australia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 21, p. 11701, 2021.

CHANG, A. Y. J. *et al.* Headwind or tailwind? The evolution of bike-sharing and ride-hailing demand during the COVID-19 pandemic. **Journal of Transport Geography**, [s. l.], v. 118, p. 103944, 2024.

CHEN, P. *et al.* Time Series Forecasting of Temperatures using SARIMA: An Example from Nanjing. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 394, p. 052024, 2018.

CHEN, X.; MORAGA, P. Assessing dengue forecasting methods: a comparative study of statistical models and machine learning techniques in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical Medicine and Health**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 1–21, 2025.

CNT, C. N. D. T. **Acidentes e mortes nas rodovias federais custaram ao país quase R\$ 13 bilhões em 2022**. [S. l.]: Agência CNT Transporte Atual, 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/acidentes-e-mortes-nas-rodovias-federais-custaram-ao-pais-quase-13-bilhoes-em-2022>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CNT, C. N. D. T. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2019**. [S. l.]: [s. d.], 2019.

CNT, C. N. D. T. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2020**. [S. l.]: [s. d.], 2020.

CNT, C. N. D. T. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2021**. [S. l.]: [s. d.], 2021.

CNT, C. N. D. T. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2022**. [S. l.]: [s. d.], 2022a.

CNT. **Panorama CNT de Acidentes Rodoviários 2024**. Brasília, DF: Cnt, 2024.

CNT, C. N. D. T. **Pesquisa CNT de Rodovias 2022**. Brasília: [s. d.], 2022b.

COOLS, M.; MOONS, E.; WETS, G. Investigating variability in daily traffic counts using ARIMAX and SARIMA (X) models: assessing impact of holidays on two divergent site locations. [s. l.], 2009.

DONG, N. *et al.* Association of human mobility with road crashes for pandemic-ready safer mobility: A New York City case study. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 165, p. 106478, 2022.

DONG, X.; XIE, K.; YANG, H. How did COVID-19 impact driving behaviors and crash Severity? A multigroup structural equation modeling. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 172, p. 106687, 2022.

DOOKERAM, N. *et al.* The impact of COVID-19 restrictions on crime and its implications for public health: a case study from a small developing country. **Journal of Public Health**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. e86–e93, 2025.

- DOUCETTE, M. L. *et al.* Initial impact of COVID-19's stay-at-home order on motor vehicle traffic and crash patterns in Connecticut: an interrupted time series analysis. **Injury Prevention**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 3–9, 2021.
- DUTTA, B.; PRATIM BARMAN, M.; NARAYAN PATOWARY, A. Exponential Smoothing State Space Innovation Model for Forecasting Road Accident Deaths in India. **Thailand Statistician**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/thaistat/article/view/245847>.
- ELVIK, R.; HØYE, A. K. Changes over time in the relationship between road accidents and factors influencing them: The case of Norway. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 183, p. 106989, 2023.
- ESSI, I. D.; LENEENADOGO, W. Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) Modelling and Forecasting of Inflation Rates in Nigerian (2003- 2016). [s. l.], v. 4, n. 1, 2018.
- EVKAYA, O. O. *et al.* Leveraging Ensemble and Hybrid Forecasting Tools to Increase Accuracy: Turkey COVID-19 Case Study. **SN Computer Science**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 146, 2025.
- FONDZENYUY, S. K. *et al.* The contribution of excessive or inappropriate speeds to road traffic crashes and fatalities: A review of literature. **Transportation Engineering**, [s. l.], v. 17, p. 100259, 2024.
- FRANCESCHI, L. *et al.* Factors related to highway crash severity in Brazil through a multinomial logistic regression model. **TRANSPORTES**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 2566–2566, 2022.
- GALINDO, E. R.; PAVARINO FILHO, V. PERSPECTIVA DA SEGURANÇA VIÁRIA FRENTE À DINÂMICA DO TRANSPORTE NA PANDEMIA DE COVID-19. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, [s. l.], n. 67, p. 11–15, 2022.
- GRIGOROUDIS, E.; KOUIKOGLOU, V. S.; PHILLIS, Y. A. Transportation Sustainability and Relevant Ranking of European Countries. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, [s. l.], v. 106, n. 2, p. 49, 2022.
- GUPTA, M.; PAWAR, N. M.; VELAGA, N. R. Impact of lockdown and change in mobility patterns on road fatalities during COVID-19 pandemic. **Transportation Letters**, [s. l.], v. 13, n. 5–6, p. 447–460, 2021.
- HE, L. *et al.* Impact of high temperature on road injury mortality in a changing climate, 1990–2019: A global analysis. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 857, p. 159369, 2023.
- HEYDARI, S. *et al.* Road Safety in Low-Income Countries: State of Knowledge and Future Directions. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 22, p. 6249, 2019.
- HYNDMAN, R. J. **Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2008. (Springer Series in Statistics Series).

- IBGE, I. B. de G. e E. **Frota de Veículos**. [S. l.]: [s. d.], 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28128>. Acesso em: 18 mar. 2023.
- INADA, H.; ASHRAF, L.; CAMPBELL, S. COVID-19 lockdown and fatal motor vehicle collisions due to speed-related traffic violations in Japan: a time-series study. **Injury Prevention**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 98–100, 2021.
- JESUS, V. F. *et al.* Causas Associadas aos Acidentes de Trânsito Envolvendo Motociclistas: Revisão Integrativa. **Revista de Enfermagem do Centro-Oeste Mineiro - RECOM**, [s. l.], n. 1514, 2017.
- KATRAKAZAS, C. *et al.* A descriptive analysis of the effect of the COVID-19 pandemic on driving behavior and road safety. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, [s. l.], v. 7, p. 100186, 2020.
- KEHAGIA, F.; GIANNAKI, M. Road investment and safety in middle- and high-income countries in the framework of sustainability. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1123, n. 1, p. 012058, 2022.
- KHAN, K.; ZAIDI, S. B.; ALI, A. Evaluating the Nature of Distractive Driving Factors towards Road Traffic Accident. **Civil Engineering Journal**, [s. l.], v. 6, n. 8, p. 1555–1580, 2020.
- KISHORE, K. *et al.* Utility of the Comprehensive Health and Stringency Indexes in Evaluating Government Responses for Containing the Spread of COVID-19 in India: Ecological Time-Series Study. **JMIR Public Health and Surveillance**, [s. l.], v. 9, p. e38371, 2023.
- KLUNGBOONKRONG, P. *et al.* Road safety status and analysis in Thailand and other Asian countries. [s. l.], p. 9, 2019.
- LOPES, L. G. F. *et al.* Levantamento do perfil epidemiológico dos óbitos por acidentes de trânsito no estado de Pernambuco de 2015 a 2019. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. e14511830681, 2022.
- MARSHALL, E.; SHIRAZI, M.; IVAN, J. N. COVID-19 and transport safety. **Transport Reviews**, [s. l.], p. 1–26, 2023.
- MARTINS, T. C. D. F.; GUIMARÃES, R. M. Distanciamento social durante a pandemia da Covid-19 e a crise do Estado federativo: um ensaio do contexto brasileiro. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 46, n. spe1, p. 265–280, 2022.
- MOHAMMED, A. A. *et al.* A Review of the Traffic Accidents and Related Practices Worldwide. **The Open Transportation Journal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 65–83, 2019.
- MONTGOMERY, D. C. D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. **Introduction to Time Series Analysis and Forecasting**. Second Editioned. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2^a Ed.ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006.

NAVARRO-MORENO, J.; CALVO-POYO, F.; DE OÑA, J. Investment in roads and traffic safety: linked to economic development? A European comparison. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 6275–6297, 2023.

NOOR, T. H. *et al.* SARIMA: A Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average Model for Crime Analysis in Saudi Arabia. **Electronics**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 3986, 2022.

OESTREICH, L. *et al.* Impacts of the COVID-19 pandemic on the profile and preferences of urban mobility in Brazil: Challenges and opportunities. **Travel Behaviour and Society**, [s. l.], v. 31, p. 312–322, 2023.

OPAS, O. P.-A. de S. **OMS lança década de ação pela Segurança no Trânsito 2021-2030**. [S. l.]: [s. d.], 2021. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/28-10-2021-oms-lanca-decada-acao-pela-seguranca-no-transito-2021-2030>. Acesso em: 22 nov. 2022.

OPAS, O. P.-A. de S. **Segurança no Trânsito**. [S. l.]: [s. d.], 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/seguranca-no-transito>. Acesso em: 20 mar. 2023.

OSTERTAGOVÁ, E.; OSTERTAG, O. Forecasting using simple exponential smoothing method. **Acta Electrotechnica et Informatica**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2012. Disponível em: http://www.aei.tuke.sk/papers/2012/3/12_Ostertagov%C3%A1.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

PATWARY, A. L.; KHATTAK, A. J. Crash harm before and during the COVID-19 pandemic: Evidence for spatial heterogeneity in Tennessee. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 183, p. 106988, 2023.

PEDEN, M. M.; PU VANACHANDRA, P. Looking back on 10 years of global road safety. **International Health**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 327–330, 2019.

QURESHI, A. I. *et al.* Mandated societal lockdown and road traffic accidents. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 146, p. 105747, 2020.

ROSEN, H. E. *et al.* Global road safety 2010–18: An analysis of Global Status Reports. **Injury**, [s. l.], p. S0020138322005046, 2022.

SEKADAKIS, M. *et al.* Analysis of the impact of COVID-19 on collisions, fatalities and injuries using time series forecasting: The case of Greece. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 162, p. 106391, 2021.

SHAHLAEE, A. *et al.* Modeling the impact of the COVID-19 pandemic on speeding at rural roadway facilities in Maine using short-term speed and traffic count data. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 177, p. 106828, 2022.

SHAIK, Md. E.; AHMED, S. An overview of the impact of COVID-19 on road traffic safety and travel behavior. **Transportation Engineering**, [s. l.], v. 9, p. 100119, 2022.

SILVA, A. A. D. *et al.* Impact of the COVID-19 pandemic on the epidemiology of traffic accidents: a cross-sectional study. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, [s. l.], v. 49, p. e20223364, 2022.

- SINGH, S. K. Road Traffic Accidents in India: Issues and Challenges. **Transportation Research Procedia**, [s. l.], v. 25, p. 4708–4719, 2017.
- SOBREIRA, L. T. P. *et al.* Impact of COVID-19 on Traffic Volume, Violations, and Crashes in Fortaleza, Brazil. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, [s. l.], v. 148, n. 10, p. 04022080, 2022.
- STILES, J. *et al.* Lower Volumes, Higher Speeds: Changes to Crash Type, Timing, and Severity on Urban Roads from COVID-19 Stay-at-Home Policies. **Transportation Research Record**, [s. l.], v. 2677, n. 4, p. 15–27, 2023.
- SWAIN, P. K.; TRIPATHY, M. R.; AGRAWAL, K. Forecasting road accidental deaths in India: an explicit comparison between ARIMA and exponential smoothing method. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 547–560, 2023.
- TINGVALL, C.; HAWORTH, N. Vision Zero - An ethical approach to safety and mobility. [s. l.], 1999.
- TUCKER, A.; MARSH, K. L. Speeding through the pandemic: Perceptual and psychological factors associated with speeding during the COVID-19 stay-at-home period. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 159, p. 106225, 2021.
- VECINO-ORTIZ, A. I. *et al.* Saving lives through road safety risk factor interventions: global and national estimates. **The Lancet**, [s. l.], v. 400, n. 10347, p. 237–250, 2022.
- VINGILIS, E. *et al.* Coronavirus disease 2019: What could be the effects on Road safety?. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 144, p. 105687, 2020.
- WEGMAN, F.; KATRAKAZAS, C. Did the COVID-19 pandemic influence traffic fatalities in 2020? A presentation of first findings. **IATSS Research**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 469–484, 2021.
- WEI, W. W. S. **Time series analysis: Univariate and Multivariate Methods**. Nova York: Addison Wesley, 2006. (Segunda Edição).
- WHO, W. H. O. **Decade of Action for Road Safety 2021-2030**. [S. l.]: [s. d.], 2020. Disponível em: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. Acesso em: 1 mar. 2023.
- WHO, W. H. O. **Global launch: decade of action for road safety 2011-2020**. [S. l.]: [s. d.], 2011. Disponível em: <https://www.who.int/publications/item/global-launch-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- WHO, W. H. O. **Global Status Report on Road Safety 2018**. Geneva: [s. d.], 2018. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/276462>. Acesso em: 3 dez. 2022.
- WHO, W. H. O. **Road Traffic Injuries**. [S. l.]: [s. d.], 2022. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Acesso em: 20 nov. 2022.

WIJNEN, W.; STIPDONK, H. Social costs of road crashes: An international analysis. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 94, p. 97–106, 2016.

WRI, B. Para que Visão Zero avance, liderança política e engajamento comunitário são fatores cruciais. [s. l.], fev. 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/para-que-visao-zero-avance-lideranca-politica-e-engajamento-comunitario-sao-fatores>. Acesso em: 10 ago. 2025.

YASIN, Y. J. *et al.* Impact of the COVID-19 Pandemic on road traffic collision injury patterns and severity in Al-Ain City, United Arab Emirates. **World Journal of Emergency Surgery**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 57, 2021.

YASIN, Y. J.; GRIVNA, M.; ABU-ZIDAN, F. M. Global impact of COVID-19 pandemic on road traffic collisions. **World Journal of Emergency Surgery**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 51, 2021.

YASIN, Y. J.; GRIVNA, M.; ABU-ZIDAN, F. M. Motorized 2–3 wheelers death rates over a decade: a global study. **World Journal of Emergency Surgery**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 7, 2022.

YUAN, P. *et al.* Characteristics, likelihood and challenges of road traffic injuries in China before COVID-19 and in the postpandemic era. **Humanities and Social Sciences Communications**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–8, 2023.