



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

RICARDO DA COSTA LIMA

**SITUAÇÃO DA COVID-19 NO ESTADO DO TOCANTINS: A
RELAÇÃO COM OS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E
DE SAÚDE**

PALMAS/TO
2024

RICARDO DA COSTA LIMA

**SITUAÇÃO DA COVID-19 NO ESTADO DO TOCANTINS: A
RELAÇÃO COM OS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E
DE SAÚDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. José Bruno Nunes Ferreira Silva

Coorientadora: Dra. Patrícia Ferreira Nomellini

PALMAS/TO
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L732s Lima, Ricardo da Costa.
Situação da covid-19 no estado do Tocantins: a relação com os indicadores socioeconômicos e de saúde. / Ricardo da Costa Lima. – Palmas, TO, 2024.
111 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Ciências da Saúde, 2024.
Orientador: José Bruno Nunes Ferreira Silva
Coorientadora : Patrícia Ferreira Nomellini

1. COVID-19. 2. Modelos Aditivos Generalizados. 3. Indicadores Socioeconômicos. 4. Tocantins. I. Título

CDD 610

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

RICARDO DA COSTA LIMA

SITUAÇÃO DA COVID-19 NO ESTADO DO TOCANTINS: A RELAÇÃO COM OS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E DE SAÚDE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. José Bruno Nunes Ferreira Silva
Coorientadora: Dra. Patrícia Ferreira Nomellini

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Bruno Nunes Ferreira Silva - UFT

Profa. Dra. Patrícia Ferreira Nomellini – FESP/PALMAS

Prof. Dra. Juliana Bastoni da Silva - UFT

Prof. Dr. Ricardo Alexandre Arcêncio - USP

Palmas, 2024

Dedico esta dissertação à minha querida mãe, Dinalva Ferreira da Costa Lima (in memoriam), que, mesmo não estando mais conosco, continua a ser uma fonte constante de inspiração e amor.

Ao meu pai, Raimundo Pereira Lima, pelo exemplo de homem, dedicação e superação e meus irmãos William Ferreira da Costa Lima e Vitor da Costa Lima.

À minha esposa, Auriana de Sousa Silva, cujo amor e compreensão me sustentaram nos momentos mais desafiadores, e aos meus filhos, Cecília da Silva Lima e Arthur da Silva Lima, que me motivam diariamente a ser melhor e a seguir em frente.

*“É justo que muito custe o que muito vale.”
Santa Tereza d’Ávila*

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, que foi, ao longo dessa trajetória, minha maior fonte de sabedoria, sustento e perseverança.

À minha esposa Auriana de Sousa Silva e aos meus filhos Cecília da Silva Lima e Arthur da Silva Lima, pelo apoio incondicional e compreensão durante todo esse período de dedicação.

Ao Professor Dr. José Bruno Nunes Ferreira Silva, meu orientador, pelos valiosos conhecimentos transmitidos, pela condução assertiva de todo esse processo e, principalmente, pela humanidade e compreensão demonstradas ao longo deste período, que, em muitos momentos, foi desafiador para mim. E a professora Dra. Patrícia Ferreira Nomellini, coorientadora, pelas orientações assertivas durante esse tempo.

Em nome de Adailton Tomaz da Silva, secretário atencioso, prestativo e sempre disposto a ajudar, e da Professora Dra. Danielle Rosa Evangelista, que foi uma das principais incentivadoras para que eu ingressasse no mestrado, expresso minha gratidão a Universidade Federal do Tocantins e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UFT. O programa proporcionou a mim, um graduado em Estatística, a oportunidade de ampliar meus conhecimentos e contribuir com pesquisas relevantes para a área da saúde pública.

Agradeço ao Governo do Estado do Tocantins e à Secretaria Estadual de Saúde pelo incentivo contínuo à formação de seus servidores. Em especial, em nome de Perciliana Joaquina Bezerra de Carvalho, Maria do Socorro Vieira Freitas de Campos, Erlaene Tedesco Canedo Silvestre Emilio, Wagner Santos de Jesus, Renata Tavares Nascimento, Rosa Maria Dias da Silva Abreu e Dr. Fernando Pedroso Berdarrain, expresso minha gratidão à Superintendência de Vigilância em Saúde do Tocantins e à Gerência de Sala de Situação de Saúde, onde iniciei minha trajetória profissional como estatístico na área da saúde. Foi graças ao apoio, orientação e ensinamentos desses colegas e amigos que pude adquirir os conhecimentos que hoje possuo sobre epidemiologia e saúde pública.

Agradeço à Estatística Professora Dra. Elisângela Aparecida da Silva Lizzi, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo especial incentivo, apoio e pelos valiosos conhecimentos repassados na área de modelagem estatística.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins - FAPT e Secretaria de Estado da Saúde – SES-TO pelo fomento deste projeto (Edital 01/2023).

RESUMO

A pandemia de COVID-19 expôs desigualdades sociais e econômicas em diferentes regiões do Brasil, e no estado do Tocantins, a situação não foi diferente. Fatores como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) revelaram-se fundamentais para entender a propagação da doença e seus impactos nas diversas regiões. Este estudo tem como objetivo analisar a relação entre as taxas de incidência e mortalidade por COVID-19 e indicadores socioeconômicos e de saúde nos 139 municípios do Tocantins. O estudo é de natureza ecológica, com análise temporal e espacial. Foram coletados dados de casos confirmados e óbitos por COVID-19 registrados entre 17 de março de 2020 e 31 de março de 2023. Utilizamos Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para explorar relações não-lineares entre as taxas de incidência e mortalidade e os indicadores socioeconômicos e de saúde. Foram incluídas variáveis temporais (semanas epidemiológicas) e geográficas (latitude e longitude) para capturar variações espaciais e temporais. No período o estado do Tocantins registrou 366.609 casos confirmados de COVID-19 e 4.235 óbitos ao longo de 159 semanas epidemiológicas e apresentou como maior taxa de incidência na semana epidemiológica 4 do ano de 2022 com 925,99 casos confirmados por 100 mil habitantes e semana 12 de 2021 ocorreu a maior taxa de mortalidade com 11,63 óbitos por 100.000 habitantes. Quanto a relação com os indicadores socioeconômicos e de saúde, observou-se que a relação entre a taxa de incidência e o IDSC ($\text{edf} = 6.279$, $p < 0,001$) é significativa e não-linear. Municípios com índices mais altos de desenvolvimento sustentável apresentaram menores taxas de incidência. A mesma tendência foi observada para o IDHM ($\text{edf} = 7.944$ e $p < 0,001$). Observou-se também que taxa de incidência aumentou em municípios com maior vulnerabilidade social, medida pelo IVS ($\text{edf} = 2.001$, $p < 0,001$), e com maior mortalidade infantil. No entanto, o modelo ajustado para a taxa de mortalidade não apresentou precisão significativa. Os resultados mostram que os municípios com melhores condições socioeconômicas e de saúde conseguiram mitigar melhor os impactos da pandemia. Os achados sugerem que políticas públicas voltadas para a melhoria dos indicadores de desenvolvimento humano e a redução das desigualdades sociais podem ser eficazes na mitigação de futuras crises sanitárias. O estudo também destaca a importância do uso de dados geoespaciais para entender a distribuição desigual dos impactos da pandemia.

Palavras-chave: COVID-19. Modelos Aditivos Generalizados. Indicadores Socioeconômicos. Saúde Pública. Tocantins.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic exposed social and economic inequalities in different regions of Brazil, and the state of Tocantins was no exception. Factors such as the Municipal Human Development Index (IDHM), the Social Vulnerability Index (IVS), and the Sustainable Development Cities Index (IDSC) proved to be crucial for understanding the spread of the disease and its impacts in various regions. This study aims to analyze the relationship between COVID-19 incidence and mortality rates and socioeconomic and health indicators in the 139 municipalities of Tocantins. This ecological study includes temporal and spatial analysis. Data on confirmed cases and COVID-19 deaths recorded between March 17, 2020, and March 31, 2023, were collected. Generalized Additive Models (GAM) were used to explore non-linear relationships between the incidence and mortality rates and the socioeconomic and health indicators. Temporal (epidemiological weeks) and geographic (latitude and longitude) variables were included to capture spatial and temporal variations. During the study period, the state of Tocantins recorded 366,609 confirmed cases of COVID-19 and 4,235 deaths over 159 epidemiological weeks. The highest incidence rate was recorded in epidemiological week 4 of 2022, with 925.99 confirmed cases per 100,000 inhabitants, and the highest mortality rate occurred in week 12 of 2021, with 11.63 deaths per 100,000 inhabitants. Regarding the relationship with socioeconomic and health indicators, the relationship between the incidence rate and IDSC (edf = 6.279, $p < 0.001$) was significant and non-linear. Municipalities with higher sustainable development indices had lower incidence rates. The same trend was observed for the IDHM (edf = 7.944, $p < 0.001$). It was also observed that the incidence rate increased in municipalities with higher social vulnerability, measured by the IVS (edf = 2.001, $p < 0.001$), and higher infant mortality. However, the model adjusted for mortality rate did not show significant precision. The results indicate that municipalities with better socioeconomic and health conditions were more successful in mitigating the pandemic's impacts. The findings suggest that public policies aimed at improving human development indicators and reducing social inequalities may be effective in mitigating future health crises. The study also highlights the importance of using geospatial data to understand the unequal distribution of pandemic impacts.

Keywords: COVID-19. Generalized Additive Models. Socioeconomic Indicators. Public Health. Tocantins.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Casos de covid-19 confirmados no mundo até 31 de janeiro de 2020.	34
Figura 2 - Casos confirmados de covid-19 no mundo até 11 de março de 2020.....	35
Figura 3 - Taxa de Incidência de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023).....	43
Figura 4 - Taxa de Mortalidade de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023).....	44
Figura 5 - Taxa de Letalidade de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023).....	45
Figura 6 - Mapa Taxa de incidência de covid-19 por município, segundo cada onda identifica. Tocantins 2020 a 2023.....	47
Figura 7 - Mapa Taxa de mortalidade por covid-19 por município, segundo cada onda identifica. Tocantins 2020 a 2023.....	48
Figura 8 - Mapa Taxa de letalidade por covid-19 por município, segundo cada onda identifica. Tocantins 2020 a 2023.....	49
Figura 9 - Boxplot dos indicadores sociais IDHM, IVS, IDSC, do estado do Tocantins.	51
Figura 10 - Mapa da distribuição dos indicadores sociais (IDHM 2010, IVS 2010 e IDSC 2021) do estado do Tocantins.....	52
Figura 11 - Boxplot dos indicadores de saúde do Tocantins, 2020.....	54
Figura 12 - Mapa da distribuição dos indicadores de saúde (TOE, TMI e TxL) do estado do Tocantins, 2020	55
Figura 13 - Modelo 1 - Taxa de Incidência versus IDSC (Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades)	57
Figura 14 - Modelo 2 – Taxa de Incidência versus IVS – (Índice de Vulnerabilidade Social).....	58
Figura 15 - modelo 3 – Taxa de Incidência versus IDHM – (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal).....	59
Figura 16 - modelo 4 – Taxa de Incidência versus TOE – (Taxa de Óbitos Evitáveis).....	60
Figura 17 - Modelo 5 – Taxa de Incidência versus TMI – (Taxa de Mortalidade Infantil)	61
Figura 18 - modelo 6 – Taxa de Incidência versus TxL – (Taxa de Leito por 1000 Habitantes)	62
Figura 19 - modelo 7 - Taxa de Mortalidade versus IDSC (Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades)	64
Figura 20 - Modelo 8 - Taxa de Mortalidade versus IVS – (Índice de Vulnerabilidade Social)	65
Figura 21 - - modelo 9 - Taxa de Mortalidade versus IDHM – (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal).....	66
Figura 22 - modelo 10 - Taxa de Mortalidade versus TOE – (Taxa de Óbitos Evitáveis).....	66
Figura 23 - modelo 11 - Taxa de Mortalidade versus TMI – (Taxa de Mortalidade Infantil)	67
Figura 24 - modelo 12 - Taxa de Mortalidade versus TxL – (Taxa de Leito por 1000 Habitantes).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores socioeconômicos do estado do Tocantins.....	50
Tabela 2 - Indicadores de saúde do estado do Tocantins, 2020	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema de pesquisa	17
1.1.1 Justificativa.....	17
2 OBJETIVO	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 Tipo de estudo	19
3.2 Variáveis do estudo	19
3.3 Coleta dos dados.....	21
3.4 Tratamento dos dados.....	23
3.5 Análise dos Dados	24
3.5.1 Análise descritiva	24
3.5.2 Modelagem Estatística.....	25
3.5 Aspectos computacionais	30
3.6 Aspectos éticos	31
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
4.1 Epidemias: contexto histórico	32
4.2 A pandemia de covid-19.....	33
4.2.1 covid-19 no Brasil e no Tocantins.....	36
4.3 Indicadores Sociais e Saúde	37
4.4 Indicadores Sociais e de Saúde x covid-19	38
4.5 Modelos matemáticos e covid-19.....	39
6. RESULTADOS E ANÁLISE.....	41
6.1 Magnitude da covid-19 ao longo do período de estudo.....	41
6.2 Análise do comportamento das taxas nos municípios	46
6.3 Análise dos indicadores socioeconômicos e de qualidade de saúde dos municípios	50
6.3.1 Indicadores Sociais	50
6.3.2 Indicadores de Saúde	53
6.4 Modelagens utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)	56
6.4.1 Modelagem da taxa de incidência vesus indicadores	56
6.4.2 Modelagem da taxa de mortalidade vesus indicadores	63
7 DISCUSSÕES	69
7.1 Limitações	73

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
8.1 Recomendações	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICES	88
ANEXOS	106

1 INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 expôs e aprofundou as desigualdades sociais e econômicas já presentes em diversas regiões do Brasil. De acordo com Souza et al. (2020), as limitações do sistema de saúde brasileiro, particularmente em áreas mais vulneráveis, tornaram-se evidentes diante da rápida disseminação do vírus e da demanda crescente por serviços médicos. Silva et al. (2022) reforçam que as populações mais afetadas foram justamente aquelas com menor acesso a serviços de saúde e em condições de vida mais precárias, o que intensificou as taxas de infecção e mortalidade nessas áreas. Esses fatores ressaltam o papel crucial das desigualdades socioeconômicas na vulnerabilidade frente a emergências sanitárias como a pandemia.

O novo coronavírus (SARS-CoV-2), causador da doença covid-19, foi identificado em janeiro de 2020 após a Organização Mundial da Saúde (OMS) ser alertada sobre vários casos de pneumonia na cidade de Wuhan, província de Hubei, na República da China (OPAS, 2022).

O estudo conduzido por Tellier (2022) evidenciou que a covid-19 pode ser transmitida por três modos: contato com secreções virais (direto ou por fômites), gotículas grandes e aerossóis. Tellier (2022) ainda argumentou que a transmissão por aerossóis é uma forma importante de disseminação do vírus, especialmente em ambientes fechados, onde a ventilação é inadequada e a concentração de aerossóis infectados pode aumentar significativamente.

O vírus da covid-19 se manifesta predominantemente por sintomas respiratórios que, na maioria dos casos, variam de leves a moderados. Contudo, a doença pode evoluir para formas graves, ocasionando, em certos casos, o óbito (OMS, 2022).

A gravidade da covid-19 é influenciada pela idade e pela presença de comorbidades. Adab e colaboradores (2022) destacam que pessoas idosas e aquelas com condições como diabetes, doenças cardiovasculares e obesidade têm um risco maior de desenvolver formas graves da doença e de morrer. Esse risco aumenta com a idade e com o número de comorbidades.

Diante da rápida disseminação do vírus, a OMS declarou, em 30 de janeiro de 2020, que o surto do SARS-CoV-2 constituía uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII). Com a continuação da propagação global, em 11 de março de 2020, a situação foi elevada ao status de pandemia pela OMS, indicando a existência de surtos ou epidemias da doença em vários países e regiões do mundo (OPAS, 2022).

No contexto nacional, o Brasil enfrentou a emergência de saúde pública relacionada à covid-19 logo após o reconhecimento global da gravidade da situação. O primeiro caso

confirmado no país ocorreu em 25 de fevereiro de 2020, envolvendo um viajante que retornou a São Paulo vindo do norte da Itália. Esta detecção precoce marcou o início da emergência nacional de saúde pública, oficialmente reconhecida em 3 de fevereiro de 2020 (Souza et al., 2020).

Em resposta à pandemia, lideranças ao redor do mundo, inclusive no Brasil, se mobilizaram para implementar estratégias de contenção do vírus. Uma das principais medidas não farmacológicas adotadas foi o distanciamento social e físico, orientado no Brasil pela Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020. Esta legislação estabeleceu diretrizes para o enfrentamento da pandemia, incluindo a imposição de isolamento e quarentena, bem como a notificação compulsória e a investigação epidemiológica, visando mitigar a disseminação da covid-19 (Brasil, 2020; Marcolino et al., 2021).

Até dia 14 de julho de 2024, o mundo contabilizou mais de 775 milhões de casos confirmados e mais de 6,8 milhões de óbitos, sendo Europa e Pacífico as regiões que concentram os maiores números de casos e Américas e Europa os que concentram os maiores números de óbitos respectivamente (WHO, 2024). Nesse mesmo período, de acordo com o Boletim Epidemiológico nº. 162 do Ministério da Saúde, o país contabilizava aproximadamente 38,7 milhões de casos confirmados e 712 mil óbitos (Brasil, 2024).

Com o avanço da doença e aumento no número de casos e óbitos, os cientistas têm investigado o SARS-CoV-2 e a doença em diferentes abordagens, com objetivo de conhecer a característica do vírus, o perfil dos infectados, consequências dele na sociedade, na economia, no meio ambiente e diversas áreas de interesse.

Durante a pandemia, os estudos epidemiológicos emergiram como fundamentais para entender a complexa e variada dinâmica da covid-19, que se manifestou de maneira distinta em diversas regiões do mundo. Essa variação, conforme apontado por Costa e colaboradores (2023), foi moldada por uma combinação de fatores, incluindo comportamentos populacionais, o surgimento de variantes do vírus, e as políticas de controle e prevenção adotadas. A complexidade desse cenário sublinha a importância da epidemiologia em adaptar e personalizar estratégias para contextos geográficos específicos.

A pandemia também agiu como um catalisador para um engajamento sem precedentes por parte da comunidade epidemiológica, destacando sua influência nas políticas públicas. Esse período evidenciou as lacunas de uma abordagem estritamente biomédica, ressaltando o valor de uma perspectiva mais abrangente e interdisciplinar. Werneck (2022) destaca que a crise reforçou a necessidade de integrar conhecimentos das Ciências Sociais e Humanas, enriquecendo a compreensão das dinâmicas de saúde pública. Assim, a resposta à pandemia

ênfatiou a importância dos avanços da Epidemiologia, ao mesmo tempo em que reforçou o chamado para um diálogo mais amplo entre diferentes disciplinas, visando uma abordagem de saúde pública mais efetiva e inclusiva.

A crise desencadeada pela covid-19 no Brasil trouxe à luz desafios pré-existentes, marcados por uma resposta governamental inadequada e efeitos especialmente severos sobre as comunidades em situação de vulnerabilidade. Revelou-se, assim, uma amplificação das desigualdades no acesso à saúde, assim como nos riscos de infecção, doença e morte, impactando desproporcionalmente os brasileiros mais pobres, a população negra e os grupos tradicionais. Além das consequências diretas da pandemia, a reestruturação obrigatória dos serviços de saúde e a redistribuição dos recursos resultaram em retardos nos diagnósticos e tratamentos de outras enfermidades, gerando um efeito cascata de desdobramentos negativos (Werneck, 2022; Silva et al., 2022).

As consequências da pandemia ainda têm impactos que vão desde a limitação de recursos essenciais, como a disponibilidade de testes diagnósticos e a capacidade de leitos de UTI, até desafios mais abrangentes, como barreiras no acesso e na interpretação de informações críticas sobre a pandemia, além da tomada de decisões de controle da pandemia (Marson; Ortega, 2020).

As diferenças socioeconômicas e de saúde, são refletidas no índice de vulnerabilidade social (IVS) e no índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), indicadores utilizados constantemente para medir as disparidades sociais. Segundo Silva e colaboradores (2022), os índices baixos desses indicadores refletem principalmente nas populações mais pobres, as quais têm sido vigorosamente afetadas pela rápida e elevada transmissão e notificação dos casos de covid-19.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a covid-19 trouxe desafios sem precedentes para os países, afetando o desenvolvimento, a produção agrícola e industrial, e a integridade dos ecossistemas (ONU, 2022). Além disso, os impactos socioeconômicos da pandemia atingiram principalmente as pessoas mais vulneráveis, exacerbando desigualdades pré-existentes e problemas estruturais. Estudos apontam que a pandemia afetou significativamente o progresso no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 3 e 6, relacionados à saúde e bem-estar e ao saneamento básico (Silva et al., 2021; Colombage et al., 2023).

No estado do Tocantins, as desigualdades sociais e econômicas são evidenciadas pelos indicadores apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, como o índice de Gini, que aponta para uma distribuição desigual de renda e a taxa de pobreza, que

afeta 30% da população (Ribeiro e Nascimento da Paixão, 2021). Além disso, os indicadores do IVS mostram que quase metade dos municípios do estado apresentam vulnerabilidade entre alta e muito alta, e o IDHM indica que 18% dos municípios possuem baixo índice de desenvolvimento humano (IPEA, 2010; IBGE, 2023).

Essa realidade socioeconômica pode ter impactado a forma como o estado do Tocantins enfrentou a pandemia da covid-19, que registrou mais de 381.000 casos confirmados e 4.291 óbitos até o dia 16 de julho de 2024. O maior pico de casos confirmados aconteceu no ano de 2022 na semana epidemiológica 4, nesta semana ocorreram 14.396 casos. O pico de óbitos ocorreu na semana epidemiológica 12 do ano de 2021, registrando 187 mortes em uma semana (Tocantins, 2024).

Considerando que existe influência da situação socioeconômica e da qualidade da atenção à saúde na incidência e mortalidade da covid-19, é importante se dispor de medidas para confirmar essa evidência e avaliar as consequências da pandemia nos diferentes municípios do Tocantins. Este estudo abordou as medidas que caracterizam o estado e municípios quanto a sua situação socioeconômica e medidas que refletem a qualidade da atenção à saúde nos mesmos.

1.1 Problema de pesquisa

Diante do exposto, observa-se a importância da caracterização epidemiológica da doença e de medidas que evidenciem a relação da situação socioeconômica e de saúde no cenário epidemiológico da covid-19 no estado do Tocantins, o estudo buscou responder a seguinte pergunta: Qual a relação entre a taxa de incidência e de mortalidade por covid-19 com os indicadores socioeconômicos e de saúde dos municípios do Tocantins?

1.1.1 Justificativa

Compreender a relação entre as taxas de incidência e mortalidade por COVID-19 e os indicadores socioeconômicos e de saúde dos municípios do Tocantins é essencial para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes. A análise desses indicadores permite não apenas identificar vulnerabilidades sociais e deficiências na saúde, mas também compreender como esses fatores influenciam diretamente a evolução da pandemia nas diferentes regiões do estado.

Este estudo busca preencher essa lacuna, ao fornecer subsídios para gestores públicos e profissionais de saúde na formulação de estratégias mais assertivas e adaptadas à realidade

local. Ao investigar como as condições socioeconômicas e de saúde afetam o comportamento da covid-19 no Tocantins, espera-se contribuir para a criação de políticas públicas mais direcionadas, capazes de mitigar os impactos da pandemia, melhorar a qualidade da atenção à saúde e fortalecer a capacidade de resposta a crises futuras. Assim, o presente estudo se justifica pela necessidade de fornecer informações concretas que possam apoiar a tomada de decisão no enfrentamento de emergências sanitárias no estado.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a dinâmica da covid-19 no estado do Tocantins e analisar a relação entre as taxas de incidência e mortalidade da doença com os indicadores socioeconômicos e de saúde dos municípios tocantinenses.

2.2 Objetivos Específicos

1 – Identificar os picos epidêmicos (ondas) de transmissão da covid-19, baseados nas taxas de incidência, mortalidade e letalidade durante o período estudado.

2 – Apresentar a distribuição espacial das taxas de incidência, mortalidade e letalidade através de mapas temáticos.

3 – Descrever a situação dos municípios em relação aos indicadores selecionados de vulnerabilidade socioeconômica e de saúde.

4 - Analisar a relação entre as taxas de incidência e mortalidade com os indicadores socioeconômicos e de saúde, integrando dados provenientes de diferentes repositórios públicos.

5 - Elaborar produto técnico de divulgação destinado à sociedade e à Secretaria da Saúde do Estado do TO, contendo os achados desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

Trata-se de um estudo ecológico, com componentes de série temporal e geográfico, utilizando dados de casos confirmados e óbitos por covid-19 dos 139 municípios do estado do Tocantins que está localizado no Norte do Brasil e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tem uma população de 1.607.363 habitantes, área de 277.423,630 km² e densidade demográfica de 4,98 hab/km². O estado ainda é dividido em 8 regiões de saúde (Amor Perfeito, Bico do Papagaio, Cantão, Capim Dourado, Cerrado Tocantins Araguaia, Ilha do Bananal, Médio Norte Araguaia e Sudeste) de acordo com a Resolução CIB Nº. 161, de 29 de agosto de 2012 (Tocantins, 2012).

3.2 Variáveis do estudo

As variáveis preditoras selecionadas neste estudo foram as taxas de incidência, mortalidade e letalidade por COVID-19. Os dados necessários para o cálculo desses indicadores foram obtidos no sistema e-SUS Notifica, uma plataforma disponibilizada para todos os municípios do Brasil, que registra notificações de casos leves de Síndrome Gripal (SG) e suspeitos de COVID-19 (Tobias, 2021). De acordo com o Ministério da Saúde, esses indicadores são ferramentas essenciais para o monitoramento situacional da COVID-19, fornecendo subsídios importantes para a gestão e a tomada de decisões estratégicas no enfrentamento da pandemia (Brasil, 2022).

Como variáveis explicativas da situação socioeconômica dos municípios, foram selecionados os seguintes indicadores: Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), com dados de 2010; o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), também de 2010; e o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC), com dados mais recentes de 2021. Esses indicadores, amplamente utilizados e validados em diversos estudos, fornecem uma visão abrangente das condições socioeconômicas, destacando diferentes dimensões da realidade social e econômica dos municípios.

A escolha do IVS é justificada pela sua capacidade de identificar grupos vulneráveis, uma vez que a COVID-19 tem o potencial de ampliar as desigualdades sociais e de saúde se esses grupos não forem adequadamente mapeados e apoiados (The Lancet, 2020). O IVS oferece essa visão, permitindo direcionar intervenções eficazes para as populações em maior risco, considerando as particularidades regionais.

O IDHM foi incluído por condensar três dimensões fundamentais — saúde, renda e educação —, aspectos que influenciam diretamente os indicadores da COVID-19 (Baumgratz; Terre; Alves, 2023). Essas três dimensões são essenciais para entender como as condições de vida da população impactam a disseminação e a gravidade da pandemia.

Por fim, o IDSC se mostra relevante devido ao impacto da COVID-19 sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Como destacado por Khetrapal e Bhatia (2020), a pandemia interrompeu progressos globais em direção aos ODS, e a utilização do IDSC permite avaliar o impacto socioeconômico da COVID-19 nos municípios, além de possibilitar uma visão sobre a sustentabilidade das cidades no contexto da pandemia.

O IVS representa a média dos valores dos indicadores referentes a três dimensões: infraestrutura urbana; capital humano; renda e trabalho. A dimensão "infraestrutura urbana" afere o acesso a serviços de saneamento básico e de mobilidade urbana, enquanto o "capital humano" expressa as condições de saúde e o acesso dos indivíduos à educação, e a dimensão "renda e trabalho", o estado de insegurança financeira desses indivíduos. Os resultados são expressos por escores, que variam de 0 a 1, em que 0 corresponde à situação ideal, ou desejável, e 1 à pior situação, conforme a seguinte classificação: de 0 a 0,200 – IVS muito baixo; de 0,201 a 0,300 – IVS baixo; de 0,301 a 0,400 – IVS médio; de 0,401 a 0,500 – IVS alto; de 0,501 a 1,000 – IVS muito alto (IPEA, 2010).

O IDHM abrange três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. Assim sendo, responde pela esperança de vida ao nascer, o acesso à educação (médias e expectativas de anos de estudo) e a renda (produto interno bruto per capita); seu escore também varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior é o desenvolvimento humano do município, conforme a seguinte classificação: de 0 a 0,499 – IDHM muito baixo; de 0,500 a 0,599 – IDHM baixo; de 0,600 a 0,699 – IDHM médio; de 0,700 a 0,799 – IDHM alto; de 0,800 a 1,000 – IDHM muito alto (ONU, 2013).

O IDSC foi idealizado para que os municípios brasileiros possam monitorar e avaliar o alcance dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS a nível local. Esta avaliação faz uso de 100 indicadores, tendo todos os ODS representados (**Apêndice A**). A pontuação do IDSC é atribuída no intervalo entre 0 e 100 que pode ser interpretado de forma percentual, portando representado o quanto o município alcançou de seus ODS. O IDSC tem a seguinte classificação: 0 a 39,99 - IDSC muito baixo; 40 a 49,99 - IDSC baixo; 50 a 59,99 - IDSC Médio; 60 a 79,99 - IDSC Alto; 80 a 100 IDSC Muito alto (Fuller, 2020).

Embora os índices selecionados para este estudo já incluam alguns indicadores de saúde em sua composição, optou-se por selecionar indicadores específicos que pudessem, de forma

direta ou indireta, representar a qualidade dos serviços de saúde nos municípios do Tocantins. Os indicadores escolhidos foram: Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE), Taxa de Mortalidade Infantil (TMI) e o número de Leitos por 1.000 Habitantes (LxH), ambos foram considerados dados disponíveis no ano de 2020.

A Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE) foi incluída com base no trabalho desenvolvido por Malta et al. (2007), no qual especialistas de várias áreas da saúde construíram uma lista de causas de óbitos que poderiam ser evitadas por meio de ações efetivas dos serviços de saúde. Esses óbitos são aqueles que poderiam ser prevenidos por meio de intervenções diretas ou indiretas, desde que os serviços de saúde sejam acessíveis e eficazes. Elevadas taxas de óbitos evitáveis indicam falhas na prestação de cuidados de saúde, destacando a necessidade de melhorias na qualidade e na cobertura dos serviços (Saltarelli et al., 2019).

A Taxa de Mortalidade Infantil (TMI), por sua vez, é amplamente reconhecida como um dos mais importantes indicadores de saúde pública e de qualidade de vida. Ela reflete o risco de um recém-nascido não completar o primeiro ano de vida, e valores elevados desse indicador sinalizam condições precárias de vida, saúde e desenvolvimento econômico (Duarte, 2007). A mortalidade infantil, segundo Tavares e Adamson-Macedo (2023), é um dos maiores desafios para o desenvolvimento pleno de uma nação, sendo sua redução um imperativo para o avanço social e econômico.

Por fim, o número de leitos hospitalares por 1.000 habitantes (LxH) foi selecionado por sua relevância no planejamento de saúde, uma vez que reflete a capacidade do sistema em responder à demanda por cuidados médicos. A Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere uma média global de 3,2 leitos para cada 1.000 habitantes como uma referência para garantir a prestação adequada de serviços de saúde (FBH, 2022). Durante a pandemia de COVID-19, esse indicador foi especialmente importante, pois a disponibilidade de leitos teve impacto direto nas taxas de morbidade e mortalidade associadas à doença (Castagna et al., 2022).

3.3 Coleta dos dados

Os dados foram coletados no sistema e-SUS Notifica e nos sites do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DataSUS), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Atlas Brasil e Instituto Cidades Sustentáveis.

- **Variáveis resposta – covid-19**

A base de dados referente aos casos confirmados e de óbitos por covid-19, que serviram de subsídio para calcular as taxas, foi disponibilizada pela Superintendência de Vigilância em

Saúde do Tocantins após aprovação do Comitê de Ética (nº parecer: 6.124.299). Os casos foram classificados de acordo com a data de notificação, enquanto os óbitos foram classificados de acordo com a data do óbito; aqueles sem informações de data foram excluídos. O período da informação foi a partir do primeiro caso (17 de março de 2020) confirmado até 31 de março de 2023. As variáveis disponibilizadas foram: data de notificação, data início dos sintomas, data do teste, data do óbito, idade, sexo, raça/cor, etnia, município de residência, ocupação, sintomas, comorbidades, resultado do teste, evolução do caso.

- **Variáveis explicativas - Socioeconômicos**

Os dados do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) foram obtidos na plataforma Atlas da Vulnerabilidade Social, mantida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), com dados baseados no ano de 2010. O download foi realizado no formato Excel (IPEA, 2023).

O Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) foi extraído da plataforma Cidades Sustentáveis, uma ferramenta web do Programa Cidades Sustentáveis, com dados atualizados em 2021. O download também foi realizado no formato Excel (ICS, 2023).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi coletado na plataforma Atlas Brasil, uma iniciativa fruto da parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o IPEA e a Fundação João Pinheiro (FJP). Os dados têm como base o Censo de 2010, e o download foi feito em formato Excel (ATLAS BRASIL, 2024).

- **Variáveis explicativas - Saúde**

As bases de dados para o cálculo da Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE) foram extraídas do site do DATASUS, considerando os óbitos por causas evitáveis, segundo o município de residência no Tocantins, para o período de 2020 a 2022 (Datusus, 2024a).

Os dados para calcular a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI) foram obtidos no site do DATASUS, com base nos óbitos infantis, segundo o município de residência no Tocantins, também para o período de 2020 a 2022 (Datusus, 2024b).

A quantidade de leitos hospitalares por município, necessária para o cálculo do indicador Leitos Hospitalares por 1.000 Habitantes (LxH), foi obtida no site do DATASUS (Datusus, 2024d).

- **Dados complementares**

Foram necessários a obtenção de outras bases de dados para calcular as taxas e para servir de subsídio para criação dos mapas.

No site do Datasus foi realizado o download da base de dados da **população residente do Tocantins**, foi utilizada a estimativa do Tribunal de Contas da União para 2020 a 2022 (Datasus, 2024c).

Outras bases de dados foram necessárias para calcular as taxas e subsidiar a criação dos mapas. A base de dados da população residente no Tocantins foi baixada do site do DATASUS, utilizando a estimativa do Tribunal de Contas da União para os anos de 2020 a 2022 (Datasus, 2024c).

A base de dados de nascidos vivos, necessária para o cálculo da taxa de mortalidade infantil, também foi obtida no site do DATASUS (Datasus, 2024e).

Os arquivos vetorizados do tipo **shapefile** foram obtidos diretamente do site do IBGE. Esses arquivos foram necessários para a ilustração e validação das informações espaciais, permitindo a criação de mapas detalhados que representam a distribuição dos municípios do Tocantins (IBGE, 2024).

3.4 Tratamento dos dados

O tratamento das bases de dados, incluindo a tabulação, geração de gráficos, mapas e realização dos cálculos estatísticos, foi realizado utilizando o software estatístico R, versão 4.1.2 (R Core Team, 2022).

A partir dos dados de covid-19, foram calculados os indicadores utilizados como variáveis dependentes neste estudo: Taxa de Incidência, Taxa de Mortalidade e Taxa de Letalidade. Esses indicadores foram obtidos através das fórmulas descritas a seguir:

$$\text{Taxa de incidência} = \frac{\text{Casos confirmados de covid-19}}{\text{População estimada}} \times 100.000 \quad (1)$$

$$\text{Taxa de mortalidade} = \frac{\text{Óbitos por covid-19}}{\text{População estimada}} \times 100.000 \quad (2)$$

$$\text{Taxa de Letalidade} = \frac{\text{Óbitos por covid-19}}{\text{Casos confirmados de Covid-19}} \times 100\% \quad (3)$$

A taxa de óbitos evitáveis foi calculada a partir do número de óbitos evitáveis extraídos da plataforma DATASUS, esse cálculo se faz necessário para que haja padronização dos dados, assim sendo é possível realizar comparações entre os municípios de populações diferentes. O cálculo da taxa de óbitos evitáveis foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Taxa de Óbitos Evitados} = \frac{\text{Número de óbitos evitáveis}}{\text{População estimada}} \times 10.000 \quad (4)$$

O indicador leitos por 1.000 habitantes foi calculado, a parti do número de leitos de cada município dividido por sua população e multiplicado por 1.000. A fórmula de cálculo foi a seguinte:

$$\text{Leitos por 1.000 habitantes} = \frac{\text{Número de Leitos}}{\text{População estimada}} \times 1.000 \quad (5)$$

A taxa de mortalidade infantil é calculada utilizando o número de óbitos de crianças com menos de 1 ano de vida e o número de nascidos vivos conforme a fórmula:

$$\text{Taxa de mortalidade Infantil} = \frac{\text{Número de óbitos de crianças com menos de 1 ano de vida}}{\text{Número de nascidos vivos}} \times 1.000 \quad (6)$$

Foi realizada a padronização direta das taxas de incidência e de mortalidade por covid-19, utilizando como população padrão a do município de Palmas. Essa abordagem permitiu ajustar as taxas observadas nos demais municípios do Tocantins de acordo com a estrutura etária da população de Palmas, possibilitando uma comparação mais precisa entre diferentes contextos populacionais. A padronização direta foi realizada considerando as diferentes faixas etárias, garantindo que as variações nas taxas de incidência e mortalidade fossem minimizadas, sobretudo em municípios com estruturas etárias distintas, permitindo, assim, uma análise mais robusta dos impactos da pandemia no estado.

Todos os indicadores foram calculados a nível de estado, município e região de saúde, quanto aos indicadores IVS, IDHM e IDSC foram calculadas as médias dos resultados dos municípios que compõem a região de saúde para determinar seu respectivo valor.

Os dados foram agregados por semana epidemiológica e município de residência, permitindo a obtenção das taxas de COVID-19 para cada município em cada semana epidemiológica. Esse formato de agregação facilita a visualização da dinâmica da doença ao longo do tempo e no espaço, permitindo análises mais detalhadas da evolução da pandemia nos diferentes municípios.

3.5 Análise dos Dados

3.5.1 Análise descritiva

Para compreensão inicial dos dados da covid-19 do Tocantins, foram realizadas análises descritivas dos dados, a priori foram apresentados gráficos com os dados distribuídos por semana epidemiológica de acordo com os indicadores calculados (taxa de incidência, taxa de

mortalidade e taxa de letalidade). Foi utilizada a técnica de identificação dos pontos de inflexão a partir da derivada de segunda ordem para determinar o início de cada onda de casos e óbitos.

Em seguida, essas taxas foram plotadas em mapas temáticos para visualizar a magnitude dos indicadores em cada município.

Por fim, os municípios foram caracterizados quanto à situação socioeconômica e à qualidade da atenção à saúde, utilizando os indicadores selecionados (IDHM, IVS, IDS, TMI, TOE e LxH). Esses resultados foram apresentados de forma consolidada e em mapas temáticos.

3.5.2 Modelagem Estatística

Após uma análise exploratória detalhada dos dados coletados, identificamos características fundamentais e inter-relações entre os indicadores sociais e de saúde nos municípios ao longo do período de estudo. O principal objetivo desta dissertação foi investigar como esses indicadores impactam as taxas de incidência e mortalidade. Diante das características da variável resposta — contagem de casos ou mortes — e de sua relação potencialmente não linear com os preditores, optamos por um modelo que pudesse captar essa complexidade

O Modelo de Regressão de Poisson, uma escolha comum para dados de contagem, foi inicialmente considerado. No entanto, sua aplicabilidade é limitada pela suposição de que a média e a variância das contagens são iguais, o que raramente ocorre em dados reais (Magalhães, 2006). Para superar essa limitação e incorporar a possível não linearidade das relações, adotamos o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) como uma extensão dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Esta escolha permite uma maior flexibilidade ao modelar relações não lineares através de funções suaves. Adicionalmente, para capturar variações espaciais significativas nos dados, integramos o componente geo-espacial ao MAG, permitindo assim uma análise mais detalhada e contextualizada dos efeitos dos indicadores sociais e de saúde sobre as taxas de incidência e mortalidade nos diferentes municípios. Iremos detalhar nos próximos tópicos sobre esses modelos.

3.5.2.1 Modelos de Regressão

A modelagem de regressão é fundamental em muitos estudos médicos e epidemiológicos, oferecendo um método robusto para explorar e inferir as relações entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. O processo de construção de um modelo de regressão, envolvendo a seleção cuidadosa do tipo de modelo apropriado ao tipo de dado de resposta, a escolha e codificação das variáveis explicativas, e a determinação da

flexibilidade das associações entre variáveis contínuas e a resposta. Além disso, é essencial realizar diagnósticos rigorosos, validar e revisar o modelo para assegurar sua adequação e confiabilidade, e quantificar até que ponto as variações nas covariáveis explicam as diferenças observadas nos resultados. Essas escolhas metodológicas são profundamente influenciadas pelos objetivos específicos da análise (Paula, 2004; Wallisch et al., 2022).

O modelo linear normal ($\mathbf{Y} = \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$) foi desenvolvido no início do século XIX por Legendre e Gauss onde \mathbf{Z} é uma matriz de dimensão $n \times p$ de especificação do modelo (em geral a matriz de covariáveis X com um primeiro vector unitário), associada a um vector $(\boldsymbol{\beta}1, \dots, \boldsymbol{\beta}p)^T$ de parâmetros, e $\boldsymbol{\varepsilon}$ um vector de erros aleatórios com distribuição que se supõe $N_n(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I})$.

Este foi o principal método de modelagem estatística até a metade do século XX. No entanto, durante esse período, diversos modelos não lineares e não normais foram criados para abordar cenários que não eram eficazmente explicados por meio do modelo linear normal. Porém todos os modelos criados compartilham uma estrutura de regressão linear e têm em comum o fato de que a variável resposta segue uma distribuição dentro de uma família de distribuições com propriedades muito específicas a família exponencial e por exigirem a independência das respostas (Turkman e Silva, 2000).

Sendo assim, Nelder e Wedderburn (1972) introduziram os Modelos Lineares Generalizados (MLG), que representam uma fusão de diversos modelos anteriores. Essa abordagem proporcionou uma unificação tanto teórica quanto conceitual da teoria de modelagem estatística até então desenvolvida. Os MLG englobam vários modelos específicos, cada um servindo como um caso particular dentro dessa ampla categoria (Cordeiro e Demetrio, 2008).

No MLG a distribuição considerada, não precisar ser normal, podendo ser qualquer distribuição da família exponencial (Normal, Binomial, Poisson, Gama, etc.) e embora se mantenha a estrutura de linearidade, a função que relaciona o valor esperado e o vector de covariáveis pode ser qualquer função diferenciável.

Os Modelos Lineares Generalizados (MLG) têm as seguintes características:

1. A variável resposta (Y_i) pode seguir várias distribuições da família exponencial, com média μ_i , permitindo uma ampla aplicação para diferentes tipos de dados. As distribuições comuns incluem:

- Distribuições para dados contínuos: Normal, Gama, Normal inversa.
- Distribuições para proporções: Binomial.
- Distribuições para dados de contagem: Poisson, Binomial negativa.

2. As variáveis explicativas (X_1, X_2, \dots, X_k) entram no modelo através de uma combinação linear (η_i) :

$$[\eta_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki}] \quad (7)$$

3. A função de ligação é uma função que transforma a média da variável resposta (μ_i) (que pode variar em um intervalo específico) em uma combinação linear das variáveis explicativas (η_i) e é feita por diferentes funções de ligação $g(\cdot)$ que são usadas para diferentes tipos de dados:

- Logarítmica: Utilizada em modelos log-lineares, como o modelo de Poisson para dados de contagem.

- Logit: Utilizada para dados binários ou proporções.

- Identidade: Usada quando a relação linear direta é adequada.

A fórmula geral do MLG pode ser apresentada como:

$$g(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} \quad (8)$$

onde:

- $\mu_i = E(Y_i)$ é a média da variável resposta Y_i .
- β_0 é o intercepto.
- β_j são os coeficientes das variáveis explicativas X_j .
- $g(\cdot)$ é a função de ligação que transforma a média da variável resposta.

Como foi informado anteriormente, nosso modelo precisa de mais flexibilidade na modelagem, portanto vamos utilizar uma extensão do MLG.

3.5.2.2 Modelo Aditivo Generalizado (MAG)

Embora os Modelos Lineares Generalizados (MLG) ofereçam uma alternativa aos Modelos de Regressão Linear (MRL) ao relaxar o pressuposto de normalidade, eles apresentam limitações devido à sua premissa de que a relação entre a média da variável resposta e as variáveis explicativas é linear. Uma solução para essa limitação envolve o uso de abordagens de regressão não-paramétrica ou semi-paramétrica, que são frequentemente mais adaptáveis devido à sua capacidade de modelar estruturas mais flexíveis, ao contrário das estruturas estritamente paramétricas (Florencio, 2010). Entre essas abordagens, os Modelos Aditivos Generalizados (Generalized Additive Models - GAM), introduzidos por Hastie e Tibshirani em 1990, são notáveis. Eles estendem os MLG incluindo um preditor linear composto pela soma

de funções suavizadoras não-paramétricas das covariáveis, permitindo que os dados determinem de forma mais natural a relação com o preditor (η), que geralmente é não-linear. Os GAMs são úteis especialmente para tratar de resíduos que são assimétricos ou heterocedásticos. A representação típica de um GAM é a seguinte:

O GAM é expresso como:

$$Y_i \sim FE(\mu_i, \phi) \quad (9)$$

$$\eta_i = g(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + \sum_{j=1}^J s_j(X_{ji}) \quad (10)$$

onde s_j é uma função de suavização não-paramétrica aplicada à covariável (X_j) para ($j = 1, \dots, J$) (Stasinopoulos, et al., 2017). É importante notar que nem todas as covariáveis necessitam de suavização; isso é aplicável apenas para covariáveis contínuas.

Algumas das funções de suavização mais comumente utilizadas incluem P-splines, splines cúbicas, loess e redes neurais. Uma *spline* é uma curva definida matematicamente por dois ou mais pontos de controle, estabelecendo assim a relação entre $\eta = g(\mu)$ e as variáveis explicativas, essencialmente permitindo que os dados estabeleçam a forma da função de suavização (Eilers; Marx; Durbán, 2015).

Neste estudo, foi empregado o suavizador *spline*, que é caracterizado por ser uma curva formada pela junção de segmentos de polinômios cúbicos. Esses segmentos garantem que a curva mantenha continuidade até a segunda derivada. Os pontos de união entre os segmentos são chamados nós das *splines*. Cada segmento cúbico possui coeficientes distintos, embora nos nós, os valores e as duas primeiras derivadas sejam correspondentes entre os segmentos adjacentes. As linhas tracejadas indicam os gradientes da *spline* nos nós, enquanto as curvas contínuas, que são quadráticas, demonstram a continuidade das primeiras e segundas derivadas nos nós. Quando a segunda derivada da *spline* é zero nos nós extremos, ela é denominada "*spline natural*" (Wood, 2017).

Reconhecendo a importância de analisar as relações espaciais entre os municípios para uma compreensão mais aprofundada dos indicadores sociais e de saúde, optamos por adotar uma abordagem mais robusta e sofisticada ao incorporar uma extensão do Modelo Aditivo Generalizado. Esta extensão, baseada nas teorias de Simon Wood, utiliza técnicas avançadas de modelagem geo-espacial. Essa metodologia nos permite explorar e capturar de forma eficaz as dependências espaciais que podem influenciar significativamente as taxas de incidência e mortalidade observadas entre os diferentes municípios.

3.5.2.3 Modelo de Aditivo Generalizado com componente geo-espacial

Esse modelo tem funcionalidades específicas para avaliar fatores associados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Eles são amplamente aplicados em áreas como credibilidade, criminalidade, tráfego, meteorologia e estudos epidemiológicos. Um dos principais atributos desses modelos é a capacidade de integrar variáveis geodemografias e aplicar técnicas de suavização espacial. Esses modelos pertencem à família dos modelos lineares generalizados (MLG) e se destacam pelo uso de componentes SIG, que utilizam as coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos centroides estaduais como variáveis de entrada. Além disso, é possível incorporar variáveis sociais, econômicas e sociodemográficas para uma análise mais detalhada dos fenômenos estudados (Guszcza, 2010).

O modelo foi concebido com base nas diretrizes estabelecidas por Wood (2017) e os insights metodológicos de Kammann e Wand (2003). Estes autores fornecem uma base sólida para a aplicação de Processos Gaussianos em análises que envolvem dados geo-espaciais complexos, comumente encontrados em estudos de saúde pública e epidemiologia.

Este modelo avançado permite uma análise detalhada dos efeitos combinados de variáveis socioeconômicas e espaciais sobre a saúde pública. A abordagem adotada garante que as interações complexas e as variações espaciais sejam adequadamente modeladas, proporcionando informações valiosas que podem informar políticas públicas e intervenções estratégicas.

Para esse estudo o modelo foi estruturado da seguinte forma:

- Variáveis Resposta: Taxa de Incidência e Taxa de Mortalidade;
- Covariáveis: Indicadores Sociais e de Saúde (IDHM, IVS, IDSC, TMI, TxL e TOE);
- Variáveis Temporais e Espaciais: Tempo, latitude e longitude são incorporadas para melhor capturar a dinâmica temporal e a espacialização dos fenômenos. O tempo é modelado como *splines*, ajudando a explicar a influência temporal, enquanto as coordenadas dos municípios facilitam o entendimento das variações geoespaciais.

O modelo que investiga as relações entre variáveis temporais, socioeconômicas e geográficas, e suas influências nas taxas de incidência é definido pela seguinte equação:

$$\log(\text{tx_incid} + 1) = \alpha + f_{\text{tempo}}(T) + f_{\text{indicadores}}(X) + f_{\text{geo}}(\text{lon, lat}) + \epsilon \quad (11)$$

onde:

- $\log(\text{tx_incid} + 1)$ é a transformação logarítmica da taxa de incidência, incrementada por 1 para evitar o logaritmo de zero.

- α é o intercepto do modelo.
- $f_{\text{tempo}}(T)$ é uma função de suavização spline aplicada à variável 'tempo', que captura os efeitos não lineares do tempo em semanas epidemiológicas.
- $f_{\text{indicadores}}(X)$ é uma função de suavização spline aplicada ao indicador socioeconômico ou de saúde, permitindo flexibilidade na modelagem de seu impacto.
- $f_{\text{geo}}(\text{lon}, \text{lat})$ representa o componente geo-espacial modelado como um processo gaussiano (GP), onde 'longitude' e 'latitude' são tratadas de maneira conjunta para explorar as variações espaciais.
- ϵ é o termo de erro, assumindo uma distribuição normal.

Neste estudo, utilizamos o modelo GAMLSS (Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape) para modelar a relação entre a taxa de mortalidade por covid-19 e várias covariáveis, incluindo os indicadores sociais e de saúde selecionados, acrescentando o percentual de idosos, o tempo (representando as semanas epidemiológicas), e as coordenadas geográficas (longitude e latitude). A escolha do GAMLSS com termos suavizados e uma distribuição zero-inflated negative binomial foi motivada pelas características específicas dos dados epidemiológicos de covid-19. A superdispersão nos dados, juntamente com uma quantidade significativa de zeros (ou seja, semanas ou municípios sem óbitos), exigiu uma abordagem que pudesse lidar com essas particularidades, oferecendo uma modelagem mais robusta e realista dos efeitos das covariáveis. Além disso, a inclusão de termos espaciais permitiu capturar a variabilidade geográfica, essencial para compreender as diferenças regionais no impacto da pandemia. O percentual de idosos foi inserido no modelo para tentar captar melhor o impacto da idade avançada na mortalidade, reconhecendo que essa população é particularmente vulnerável à covid-19.

É importante destacar que se trata de uma análise ecológica. Portanto, as covariáveis foram inseridas nos modelos uma de cada vez, com o objetivo de evitar problemas de colinearidade e viés de estimação, conforme recomendado por Morgenstern (1995).

3.6 Aspectos computacionais

A linguagem R foi utilizada neste estudo, com o RStudio como ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). A escolha dessa linguagem se deve à sua versatilidade e à ampla gama de pacotes estatísticos e gráficos disponíveis, o que a torna uma ferramenta essencial para análises complexas de dados (RStudio Team, 2023). O R é particularmente útil para manipulação de grandes bases de dados, execução de modelos estatísticos avançados e

visualização de dados espaciais por meio de mapas, o que foi crucial para este estudo (Bivand; Pebesma; Gómez-Rubio, 2013). Além disso, o R permite uma replicação fácil dos resultados, garantindo transparência e reprodutibilidade, fatores importantes em estudos científicos. A integração com diversos pacotes como *dplyr*, *ggplot2*, *sf*, *mgcv* e outros facilitou tanto o tratamento dos dados quanto a geração de gráficos, mapas e modelagens estatísticas necessárias para a análise detalhada da dinâmica da COVID-19 no estado do Tocantins. No Apêndice B é apresentado um quadro com os principais pacotes utilizados.

3.7 Aspectos éticos

O projeto de pesquisa obteve aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Tocantins (UFT) (nº parecer: 6.124.299).

Foi obedecida a portaria SES Nº 391, de 07 de junho de 2017 que institui normas para coletas de dados, nas unidades de saúde e setores de gestão da secretaria de estado da saúde do Tocantins, para fins de pesquisa científica.

Para minimizar os riscos, foram implementadas ações preventivas e de precaução, como resguardar a integridade dos documentos, proteger a confidencialidade e a privacidade das informações, e evitar riscos à segurança dos dados, prevenindo a estigmatização ou a violação dos direitos das pessoas e comunidades envolvidas, além de garantir a ausência de conflitos de interesse. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), todos os dados foram tabulados pelos próprios pesquisadores, com os nomes dos pacientes substituídos por códigos alfanuméricos, assegurando o anonimato e a proteção dos dados pessoais (Brasil, 2018).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Epidemias: contexto histórico

Ao longo da história, as epidemias desempenharam um papel importante na trajetória da humanidade, moldando sociedades, economias e até mesmo influenciando a direção da história. As epidemias representam a manifestação de uma determinada doença, viral ou bacteriana, em uma comunidade ou área geográfica, ultrapassando a incidência esperada. A epidemia torna-se pandemia quando se estende em um nível global, espalhando-se por diversos países, em uma escala de gravidade significativa (Gabriel, 2021).

Desde 430 a.C, a sociedade tem registrado a ocorrência de doenças epidêmicas que se espalhavam por diversas cidades e dizimavam populações (Ferraz, 2020). A literatura aponta que as epidemias de peste bubônica (1346 – 1353), cólera (1817 – 1823), gripe espanhola (1918 – 1919), SARS (2002 – 2004), gripe H1N1 (2009), ebola (2014 a 2016) e a mais recente covid-19 (2020 a 2023), são as principais epidemias e pandemias da história mundial (Rezende, 2009; Balkhair, 2020; Gabriel, 2021). De acordo com Goularte e colaboradores (2021), é importante observar que dentre as principais epidemias registradas, pelo menos três foram provocadas por vírus respiratórios como influenza e o SARS (Síndrome Respiratória Aguda Grave).

A gripe espanhola, causada pelo vírus influenza, é considerada a mais devastadora das doenças do século XX, infectando mais de seiscentos milhões de pessoas e resultando no óbito de aproximadamente quarenta milhões delas (Souza, 2008). A pandemia de gripe espanhola teve início em 1918 e finalizou no início de 1920, e nesse período ela foi dividida em três ondas infecção distintas, segundo Tessaro e colaboradores (2021), a primeira onda iniciada em 1918 possuía uma morbimortalidade restringida a pessoas mais jovens. A segunda onda destacou-se por ter uma taxa de 64% de mortalidade e contaminação com aumento significativo em todos os grupos etários, a terceira onda ocorreu em 1919, e foi menos letal que a segunda.

No final de 2002 e início de 2003, tem início a epidemia de SARS (*Acute Respiratory Syndrome*), segundo Piedade e colaboradores (2021), a epidemia surgiu na China e teve como característica a rápida proliferação. O SARS é considerado a primeira síndrome respiratória aguda grave causada pelo coronavírus do tipo SARS-CoV-1, estima-se que durante os oito meses da epidemia, 8 mil pessoas foram contaminadas e 800 foram à óbito (Marques; Silveira; Pimenta, 2020).

Em 2009, cerca de 90 anos após a gripe espanhola, o mundo presenciou novamente uma nova epidemia causada pelo vírus influenza. A pandemia de H1N1, também chamada de gripe suína, teve início no México, e espalhou-se rapidamente para outros países do continente

americano e passou a ser classificado como uma pandemia após o aumento de casos nos Estados Unidos, Europa e em outros países da América do Sul (Kleinscmitt e Martins, 2022).

De acordo com Goularte e colaboradores (2021), a gripe suína tinha como característica a fácil disseminação, o que a tornou uma doença altamente contagiosa. Ainda de acordo com os autores, estima-se que entre 2009 e 2010, cerca de 20% da população mundial havia sido contaminada e 18 mil óbitos confirmados. No Brasil, no mesmo período, foram confirmados 53 mil casos e 2.000 mortes (Kleinscmitt e Martins, 2022).

Conforme Auerbach, Oselame e Dutra (2013), as pandemias de gripe ocorrem com certa periodicidade e seu alto contágio está relacionado com o período de incubação curto, que varia de 1 a 7 dias. A transmissão de vírus como influenza e SARS ocorre de forma direta por meio de gotículas de aerossol e contato com secreções de pessoas contaminadas.

Dez anos após a epidemia de H1N1, em 2019, um novo tipo de coronavírus começou a circular na China, quando médicos identificaram que alguns pacientes apresentaram um quadro de pneumonia de origem desconhecida. No início de 2020, cientistas chineses anunciaram que um novo coronavírus era o agente causador da doença que logo se espalhou pelo mundo, dando início a pandemia de covid-19 (Marques; Silveira; Pimenta, 2020 e Brito, *et al.*, 2020).

4.2 A pandemia de covid-19

Em 2019, no final do mês de dezembro, o médico oftalmologista chinês Li Wenliang alertou alguns colegas, por meio de um aplicativo de conversas, que havia sete pacientes com sintomas semelhantes ao SARS, que havia causado uma epidemia de 2002 e 2003 (Pereira *et al.*, 2020). Entretanto as autoridades chinesas consideraram o alerta do médico Li Wenliang um boato, que resultou em acusação de perturbação da ordem social (Marques; Silveira; Pimenta, 2020).

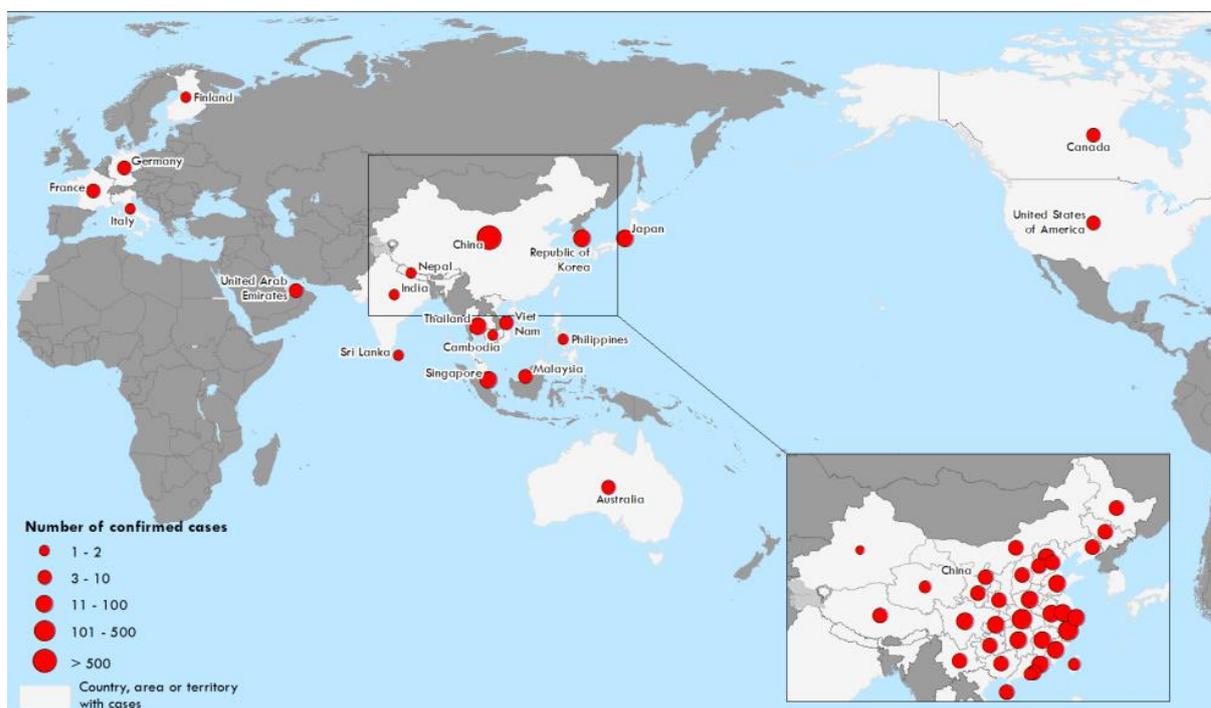
Contudo, no final de dezembro daquele ano, outros casos da doença surgiram tendo a tosse seca, febre alta e dispneia como principais sintomas, e em alguns casos evoluindo para um quadro respiratório grave (Pereira *et al.*, 2020). No dia 31 de dezembro foi realizada a primeira comunicação para OMS, sobre a circulação de uma doença com etiologia ainda desconhecida na cidade de Wuhan, de acordo com Marques, Silveira e Pimenta (2020), até aquele momento pouco se sabia sobre sua transmissão da doença e ela ainda estava restrita aquela localidade de Hubei.

No início de janeiro de 2020, após realização de testes laboratoriais foi identificado que a pneumonia que estava em circulação possuía algumas sequências do novo coronavírus, que inicialmente foi denominado de 2019-nCov pela OMS (Oliveira *et al.*, 2021). A partir da

identificação do agente etiológico a OMS começou a divulgar o tratamento para doenças, bem como monitorar a condição dos pacientes e das pesquisas que estavam em andamento, e ainda começou a tecer as medidas de enfrentamento da doença no país, pautando-se principalmente na observância das medidas de saúde pública e vigilância adotadas para influenza e infecções respiratórias agudas graves (Marques; Silveira; Pimenta, 2020).

No dia 11 de janeiro, a China informou o primeiro óbito em decorrência da infecção viral, tratava-se de um homem de 61 anos da província de Wuhan (Oliveira *et al.*, 2021). A partir daí diversos países relataram casos semelhantes da infecção viral, entre eles os Estados Unidos, Japão e Tailândia, fazendo com que medidas de restrições fossem adotadas na China, a fim de parar a circulação da doença (OMS, 2020a; Oliveira *et al.*, 2021).

Figura 1 - Casos de covid-19 confirmados no mundo até 31 de janeiro de 2020.



Fonte: Organização Mundial da Saúde (OMS), 2020b

Diante da identificação da doença em outros países, em 30 de janeiro, a OMS declarou se tratar oficialmente de uma emergência de saúde global (OMS, 2020c). No mês seguinte, em 09 de fevereiro, a doença foi oficialmente nomeada pela OMS com covid-19, sendo considerada uma doença com alta taxa de transmissão principalmente por meio de gotículas de saliva e contato com pessoas contaminadas (Oliveira *et al.*, 2021).

No final do mês de fevereiro, foram confirmados os primeiros casos de covid-19 na América Latina, e em 11 de março, a OMS declarou que o estágio de contaminação do vírus havia se tornado pandêmico, ou seja, todos os continentes do mundo já registravam casos

4.2.1 covid-19 no Brasil e no Tocantins

Com o avanço da covid-19 pelo mundo, em 21 de janeiro de 2020, o Ministério da Saúde junto com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), realizaram uma reunião para definir ações de monitoramento de pessoas com sintomas gripais em portos, aeroportos e fronteiras. A reunião resultou na nota técnica nº 2/2020/SEI/GIMTV/GGPAF/DIRE5/ANVISA, que determinou as medidas sanitárias que deveriam ser adotadas em pontos de entrada com relação aos casos de covid-19, tais como identificação de indivíduos com febre alta, tosse ou dificuldade para respirar, ou com histórico de viagem para locais com circulação do vírus na China (Anvisa, 2020).

Após a adoção das medidas em pontos de entrada, no dia 23 de janeiro, foi instalado pelo Ministério da Saúde o Centro de Operações de Emergência (COE) – Coronavírus, que ficou responsável pelo monitoramento da doença junto a OMS, bem como ações e recomendações para a rede pública de saúde (Brasil, 2020b). Com o surgimento de casos suspeitos da covid-19 no país, o Ministério da Saúde passou a recomendar o cancelamento de viagens para a China e solicitou aos estados da federação a atualização dos planos de contingência para o coronavírus (Brasil, 2020c).

Considerando o aumento de casos suspeitos no Brasil e confirmação de casos em outros países da América do Sul, no dia 03 de fevereiro, foi publicada a portaria nº 188 no qual foi declarada Emergência em Saúde Pública Nacional (ESPIN) em decorrência da covid-19 (Brasil, 2020d). Em meio as investigações de casos importados de covid-19 no Brasil e a situação de emergência pelo aumento de casos confirmados em outros países, em 06 de fevereiro, foi publicada a Lei nº 13.979 com as medidas que poderiam ser adotadas para o enfrentamento da emergência de saúde pública tais como o isolamento, quarentena, exames médicos para detecção do vírus e o uso de máscaras de proteção individual, e ainda a restrição de viagens internacionais, interestaduais e intermunicipais (Brasil, 2020e).

O primeiro caso de covid-19 foi confirmado no Brasil no dia 26 de fevereiro de 2020, em São Paulo e o primeiro óbito foi confirmado em 17 de março, também na cidade de São Paulo (Brasil, 2020f). Ainda em 17 de março, quando o país registrava 291 casos de covid-19 e cerca 8.819 casos suspeitos em todo o território nacional, o governo federal publicou a portaria nº 343 com a suspensão das aulas presenciais em todas as escolas federais, estaduais e municipais, a fim de controlar o aumento de casos suspeitos da doença (Brasil, 2020g).

Em 21 de março, 24 estados do país já haviam registrado casos da doença, até aquela data o Brasil tinha 1.128 casos e 18 óbitos confirmados. No mesmo dia o Ministério da Saúde

declarou transmissão comunitária da doença, pois já não era possível identificar a origem da infecção dos casos confirmados (Brasil, 2020h).

No primeiro ano da pandemia, o Brasil registrou 7.675.973 casos confirmados da doença com 194.949 óbitos (Brasil, 2024). Durante o período de Emergência de Saúde Pública, iniciado em 30 de janeiro de 2020 e finalizado em 05 de maio de 2023 (OMS, 2024), foram registrados 38.210.864 casos confirmados da doença, no qual 708.638 casos evoluíram para o óbito (Brasil, 2024).

No Tocantins o primeiro caso de Covid-19 foi confirmado em 17 de março de 2020, e o primeiro óbito ocorreu em 14 de abril. Durante o período da Emergência de Saúde Pública, o Tocantins registrou 368.561 casos e 4.251 óbitos de Covid-19 (TOCANTINS, 2024).

De acordo com os dados da Secretaria Estadual de Saúde do Tocantins, os casos confirmados da doença se concentraram em pessoas com idade de 30 a 59 anos e no sexo feminino, já os óbitos, em sua maioria, ocorreram em pessoas com idade a partir dos 60 anos e do sexo masculino (Tocantins, 2024).

4.3 Indicadores Sociais e Saúde

O acompanhamento do surgimento de uma doença, seu comportamento e desfecho são características importantes que servem para nortear as políticas públicas e tomada de decisão no enfrentamento da doença, nesse contexto estão os indicadores de sociais e de saúde, que definidas como medidas que procuram resumir o efeito de determinantes sociais, econômicos, ambientais e biológicos no estado de saúde de determinada população (Zanetta, 2014; Jannuzzi, 2009).

Os indicadores sociais e de saúde são ferramentas importantes para avaliação das condições de vida e saúde de uma população, de acordo com o OPAS (2018), tais indicadores englobam um grande conjunto de dados como mortalidade, expectativa de vida, acesso aos serviços de saúde, escolaridade e condições socioeconômicas. Por meio desses indicadores é possível ter uma visão abrangente quanto a situação de saúde pública e quais áreas é necessário intervenção por meio de políticas públicas e programas de saúde.

As principais aplicações dos indicadores sociais e de saúde: descrever as necessidades de atenção de saúde de uma população ou carga de doença em um determinado grupo populacional; prever desfechos do estado de saúde de uma população; compreender a situação de saúde dentro dos grupos de indivíduos; e avaliar a repercussão das políticas, programas, serviços e ações implantadas para melhoria da saúde (Bahia, 2021).

4.4 Indicadores Sociais e de Saúde x covid-19

No período da pandemia de Covid-19, o uso de indicadores sociais e de saúde foi de grande relevância para o monitoramento da propagação do vírus nos estados e municípios, avaliação da capacidade dos sistemas de saúde no acolhimento, confirmação, internação e tratamento da doença, e implantação das medidas de contenção do vírus (Oliveira, 2022).

Durante o período pandêmico os principais indicadores de saúde que foram utilizados para identificar o comportamento da doença durante as semanas epidemiológicas foram a taxa de ocupação hospitalar, incidência de casos, a média móvel por semana epidemiológica, a taxa de transmissão, a taxa de mortalidade e letalidade da doença (Brasil, 2022). Quanto aos indicadores sociais, que foram utilizados para mensurar os impactos da pandemia na população do país, destacam-se o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), condições socioeconômicas, escolaridade e acesso aos serviços de saúde (IBGE, 2022).

A relação dos indicadores sociais e de saúde a Covid-19 foi amplamente abordada na literatura durante a pandemia, como o estudo realizado por Oliveira e colaboradores (2021), que analisou o índice inicial de casos de Covid-19 relacionando-os aos indicadores sociais de saúde do estado Pará, onde abordaram o comportamento da doença em regiões com IDH Alto e IDH Baixo nas regiões do estado. Ainda considerando as desigualdades sociais, Sanhueza-Sanzana e colaboradores (2021), analisou a associação entre as desigualdades sociais e sanitárias, condições socioeconômicas e segregação espacial com a letalidade da Covid-19 na cidade de Fortaleza, Ceará.

Aguiar e colaboradores (2024), relacionou a desigualdade sociodemográfica com a incidência de Covid-19 considerando os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios no Brasil em 2020. Outro estudo que objetivou analisar a influência de fatores socioeconômicos, demográficos, epidemiológicos e da estrutura do sistema de saúde com a evolução da pandemia foi realizado por Figueiredo e colaboradores (2020), no qual os autores relacionaram as condições sociais da população com o aumento do número de casos confirmados no início da pandemia.

O estudo de Zhou e Puthenkalam (2022) investigou a relação entre o sucesso na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a mortalidade por covid-19 em 40 países asiáticos, utilizando dados coletados entre 18 de fevereiro de 2020 e 1 de abril de 2022. Os resultados revelaram uma correlação negativa significativa entre o índice de sucesso dos ODS e a taxa de mortalidade por covid-19, mesmo após o controle de variáveis como taxa de vacinação completa, leitos hospitalares, envelhecimento populacional, PIB per

capita e cobertura universal de saúde. Esses achados sugerem que a capacidade de desenvolvimento sustentável desempenha um papel crucial na redução da mortalidade por covid-19, reforçando a importância de priorizar os ODS para proteger a saúde pública global presente e futura.

5.5 Modelos matemáticos e covid-19

Desde o século XVIII, modelos matemáticos têm sido aplicados na epidemiologia, como demonstrado por Daniel Bernoulli em 1760, que desenvolveu um dos primeiros modelos para estudar a propagação da varíola (Santos, 2016). Esses modelos, baseados na análise de equações que descrevem a interação entre populações e seus ambientes, permitem uma compreensão detalhada das dinâmicas de transmissão das doenças (Luiz, 2012). O entendimento aprofundado de como uma doença se dissemina é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle e prevenção.

No estudo contemporâneo de Almeida e colaboradores (2024), métodos estatísticos descritivos e multivariáveis, como a Análise de Componentes Principais (ACP), foram utilizados para associar casos confirmados de covid-19 com indicadores de saneamento e sociais em 152 municípios do Ceará. A pesquisa revelou que o adensamento demográfico e a economia local foram fatores mais determinantes na transmissão do SARS-CoV-2 do que os indicadores de saneamento básico, realçando a complexidade das interações entre saúde pública e estruturas sociais.

Sanhueza-Sanzana e colaboradores (2020) empregaram o índice de Moran para analisar a associação entre desigualdades sociais e sanitárias e a letalidade por covid-19 em Fortaleza, Ceará. Esse estudo destaca como a segregação espacial pode influenciar os padrões de saúde, enfatizando a necessidade de considerar a estrutura espacial nas análises epidemiológicas.

Utilizando modelos aditivos generalizados quasi-Poisson, Orellana e colaboradores (2021) estimaram a subnotificação e as desigualdades regionais no Brasil, examinando o excesso de mortes por covid-19 em diversas capitais. Este método permitiu uma análise detalhada das variações regionais e temporais, contribuindo para um entendimento mais profundo dos impactos demográficos e geográficos da pandemia.

Por fim, Silva e colaboradores (2022) aplicaram modelos de regressão linear de Prais-Winsten para analisar a tendência temporal das taxas de incidência e de mortalidade por covid-19 no Piauí, e sua relação com indicadores socioeconômicos. Os resultados indicaram uma tendência crescente na incidência, porém uma estabilidade na mortalidade, com uma correlação fraca com o IDHM e nenhuma correlação significativa com o IVS, sugerindo que outros fatores,

possivelmente relacionados às políticas de saúde e intervenções locais, podem estar influenciando esses padrões.

Este segmento do referencial teórico estabelece uma base para a aplicação de modelos estatísticos e matemáticos na minha dissertação, que investigará as disparidades socioeconômicas e de saúde no contexto da pandemia de covid-19 no Estado do Tocantins. O estudo proposto não apenas segue as metodologias previamente validadas, mas também contribui com novas análises que refletem a realidade local, considerando as dimensões científicas de pessoa, tempo e espaço.

6. RESULTADOS E ANÁLISE

Para uma compreensão abrangente do comportamento do vírus covid-19 no estado do Tocantins, esta dissertação apresenta os resultados em seções sequenciais, conforme descrito a seguir:

- **Magnitude da covid-19 ao longo do período de estudo:** Esta seção aborda as taxas de incidência, mortalidade e letalidade por semana epidemiológica, destacando os picos epidêmicos e identificando as diferentes ondas da doença.

- **Análise do comportamento das taxas nos municípios:** Apresentamos mapas temáticos para visualizar como a taxa de incidência, mortalidade e letalidade variaram nos municípios durante cada uma das ondas identificadas.

- **Análise dos indicadores socioeconômicos e de qualidade de saúde dos municípios:** Esta seção abordar o perfil dos municípios em relação aos indicadores socioeconômicos e de qualidade de saúde, fornecendo insights sobre possíveis correlações com a propagação e impacto da doença.

- **Modelagens utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAMs):** Finalmente, para atender ao objetivo geral da dissertação, serão apresentados os resultados das modelagens utilizando GAMs para investigar a relação de cada indicador nos padrões de incidência, mortalidade e letalidade da covid-19.

6.1 Magnitude da covid-19 ao longo do período de estudo

Desde o primeiro caso confirmado em 17 de março de 2020 até 31 de março de 2023, o estado do Tocantins registrou aproximadamente 366.609 casos confirmados de covid-19, resultando em 4.235 óbitos, distribuídos ao longo de 159 semanas epidemiológicas. Os dados apresentam variações significativas ao longo do período, ilustradas através de histogramas e análises descritivas detalhadas nas seções a seguir.

A **Figura 3** apresenta a taxa de incidência de covid-19 no Tocantins, observa-se cinco ondas epidêmicas distintas. A primeira onda estendeu-se da semana epidemiológica (SE) 12 de 2020 (março) até a semana 44 de 2020 (outubro), atingindo um pico na semana 33 de 2020 (agosto) com uma incidência de 393,65 casos por 100.000 habitantes. A segunda SE 45 de 2020 (novembro) até a SE 40 de 2021 (outubro) alcançou seu pico na semana 11 de 2021 (março) com 460,94 casos. A terceira onda SE 41 de 2021 (novembro) até a SE 14 de 2022 (abril) foi a mais incidente com taxa de 925,99 casos na semana 04 de 2022 (janeiro). A quarta e quinta

onda mostraram uma redução gradual, com picos de 444,27 e 309,14 casos, respectivamente, na semana 26 de 2022 (julho) e semana 50 de 2022 (dezembro).

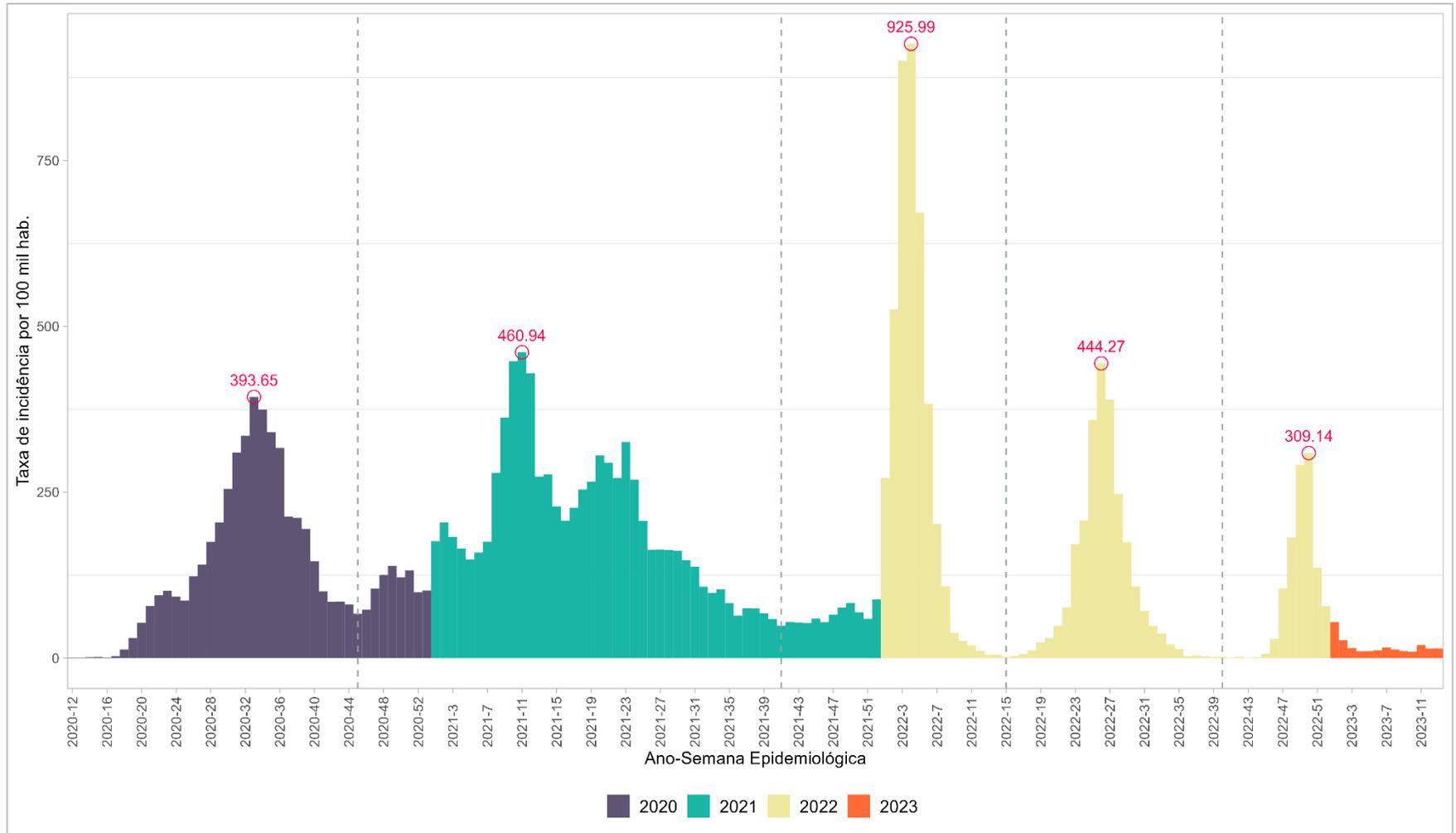
Na **Figura 4** é representado o comportamento da Taxa de Mortalidade e observa-se que o pico mais alto ocorrendo na segunda onda, semana 12 de 2021 (março), com 11,63 óbitos por 100.000 habitantes. A primeira onda teve seu pico de mortalidade na semana 34 de 2020 (agosto), enquanto a terceira onda apresentou um pico mais moderado na semana 04 de 2022 (janeiro). A quarta e quinta onda tiveram taxas de mortalidade menores, destacando-se a quinta onda com um pico de apenas 0,31 óbitos na semana 49 de 2022 (dezembro).

Quanto a **Figura 5** que representa a Taxa de Letalidade ao longo das semanas epidemiológicas, isto é, o risco de morte entre os casos confirmados, mostrou-se mais elevada na segunda onda, atingindo 4,14% na semana 13 de 2021 (março). As demais ondas apresentaram taxas menores, com a terceira onda registrando 1,50% na semana 09 de 2022 (março) e a quinta onda 1,24% no início de 2023, especificamente na semana 04 (janeiro).

As curvas epidêmicas da covid-19 no estado do Tocantins foi um reflexo dos acontecimentos registrados no restante do país e possivelmente contribuídas pelos mesmos fatores registrados por vários estudos.

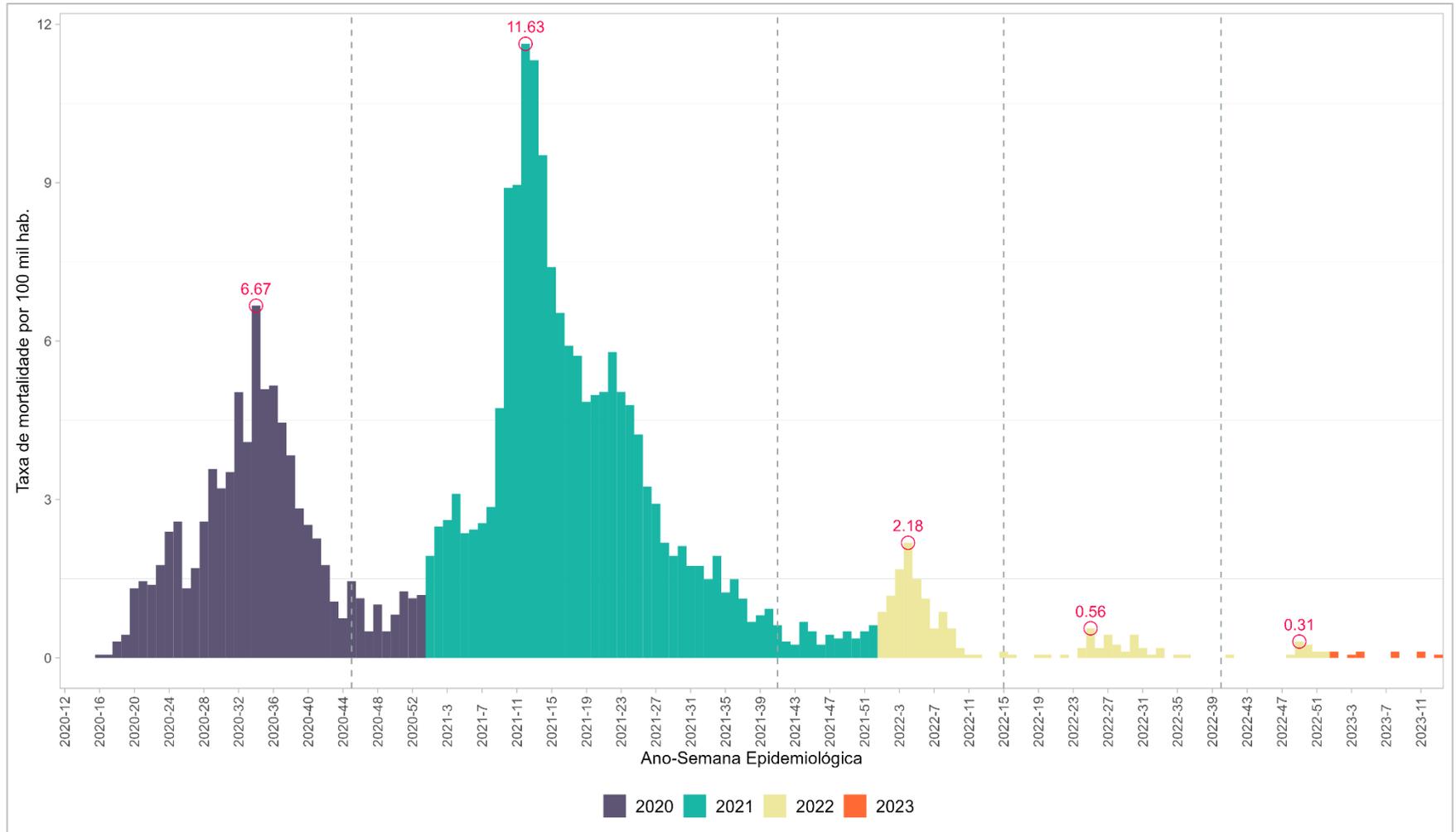
Barcellos e Xavier (2022) caracterizaram as cinco ondas de covid-19, registradas de março de 2020 a maio de 2022, como segue: a primeira onda envolveu uma expansão lenta do vírus das capitais para municípios menores, com evidente subnotificação, e a segunda onda viu a estabilização dos indicadores de transmissão em altos níveis, seguidos por uma redução devido às medidas de isolamento, ambas correspondendo à primeira onda no Tocantins. A terceira onda foi marcada por uma crise no sistema de saúde devido à variante Gama, enquanto a quarta, com a expansão da vacinação, mostrou uma redução na transmissão e nas taxas de casos e óbitos, refletindo a segunda onda no Tocantins. A quinta onda, caracterizada pela predominância da variante Ômicron, resultou em um rápido aumento de casos e positividade nos testes, com uma alta nas internações, mas com mortalidade relativamente menor, correspondendo à terceira onda no estado.

Figura 3 - Taxa de Incidência de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023)



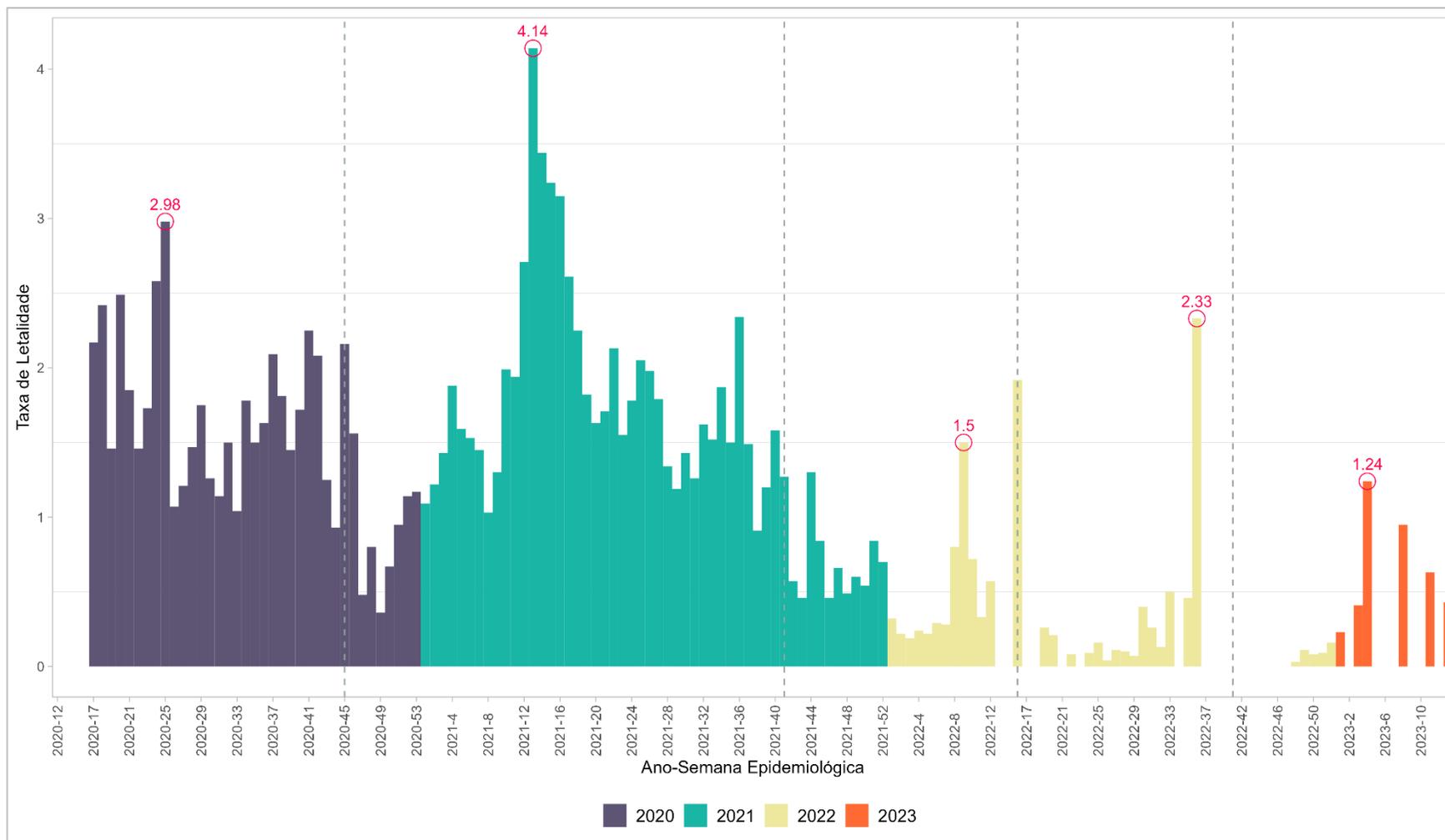
Fonte: Esus-Notifica

Figura 4 - Taxa de Mortalidade de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023)



Fonte: Esus-Notifica

Figura 5 - Taxa de Letalidade de covid-19 por semana epidemiológica no estado do Tocantins (S.E. 12-2020 a S.E. 13-2023)



Fonte: Esus-Notifica

6.2 Análise do comportamento das taxas nos municípios

A propagação da covid-19 no estado do Tocantins alcançou todos os municípios ao longo do período pandêmico. No entanto, observou-se que essa disseminação e os declínios subsequentes ocorreram em momentos distintos. Uma maneira de ilustrar esse fenômeno pode ser observada por meio de mapas temáticos que destacam as taxas de incidência, mortalidade e letalidade durante cada uma das cinco ondas identificadas (**Figuras 6 – 8**).

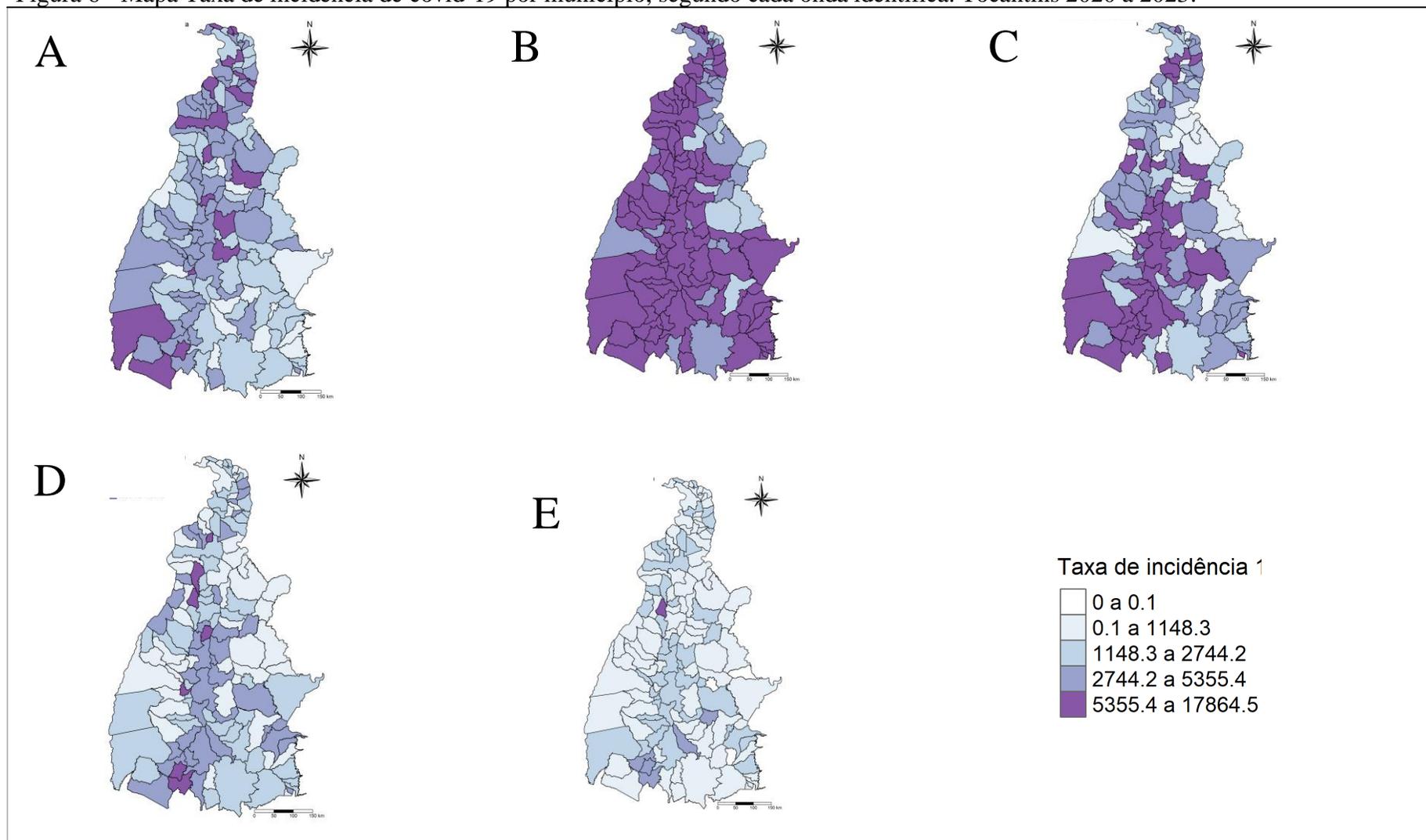
Na **Figura 6** é possível observar que durante as três primeiras ondas (**Figura 6A-C**), a grande maioria dos municípios registrou casos de covid-19. Na segunda onda (**Figura 6B**), especificamente, todos os municípios apresentaram incidência, e destes, 75,5% registraram uma incidência maior que 5.355 casos a cada 100 mil habitantes. A partir da terceira onda (**Figura 6C**), verificou-se uma diminuição na incidência, com alguns municípios sem registros de casos, uma dinâmica que se mantém nas duas ondas subsequentes (**Figuras 6D, 6E**).

Na **Figura 7**, é apresentado o comportamento da taxa de mortalidade nos municípios a partir de cada onda estudada. O cenário é semelhante ao da taxa de incidência, onde, na primeira onda (**Figura 7A**), cerca de 82,7% dos municípios já apresentavam taxa de mortalidade. Na segunda onda (**Figura 7B**), 95,0% dos municípios registravam óbitos, com 54,0% destes apresentando taxa de mortalidade acima de 126,2 óbitos a cada 100 mil habitantes. A partir da terceira onda (**Figura 7C**), observou-se uma queda drástica na taxa de mortalidade, chegando à quinta onda (**Figura 7E**) com 90% dos municípios sem registros de óbitos.

A **Figura 8** apresenta a taxa de letalidade, indicador que avalia o risco de mortalidade associado à doença. Observou-se uma distribuição da taxa de letalidade semelhantes na primeira (**Figura 8A**) e segunda (**Figura 8B**), destacando-se novamente a segunda onda com a grande maioria dos municípios apresentando uma letalidade acima de 1,7%. Nas ondas subsequentes, o risco de óbito pela doença diminui em todo o estado (**Figuras 8D, 8E**).

Segundo Bessa e Luz (2020), a análise da disseminação da Covid-19 no Tocantins revela dois padrões principais de propagação: um vertical e outro horizontal, refletindo as dinâmicas das interações espaciais na rede urbana do estado. Esses padrões facilitam a rápida dispersão do vírus, especialmente nas regiões central e norte, impulsionados pelas rotas de transporte e pelas sobreposições das áreas de influência dos centros regionais, como Araguaína. A combinação desses fatores torna essas áreas particularmente vulneráveis, exigindo uma atenção especial das autoridades sanitárias e políticas para mitigar os impactos da pandemia, especialmente considerando a insuficiência dos serviços de saúde em algumas regiões.

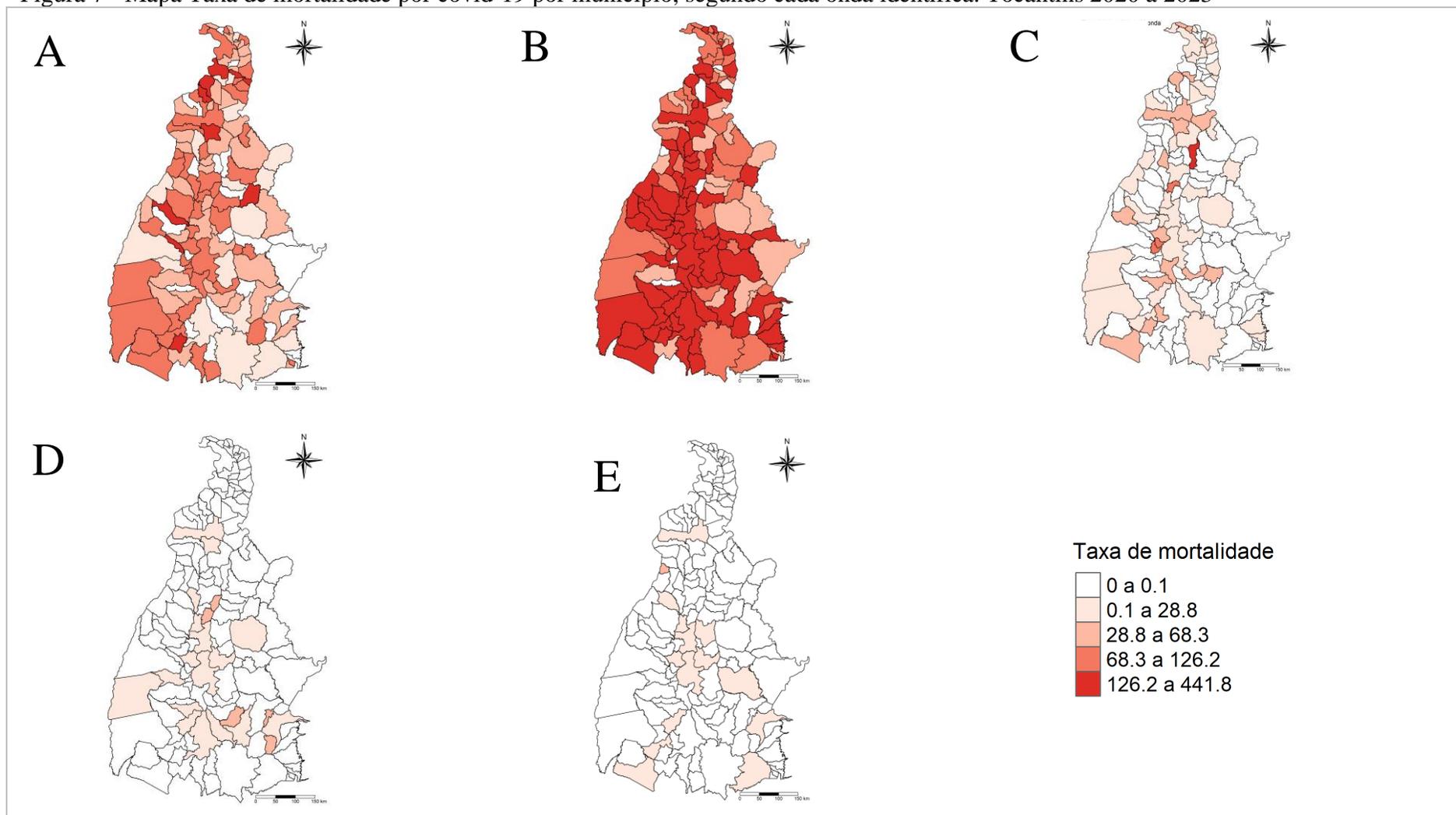
Figura 6 - Mapa Taxa de incidência de covid-19 por município, segundo cada onda identifica. Tocantins 2020 a 2023.



Fonte: Esus-Notifica

A - SE 12 de 2020 até SE 44 de 2020, B - SE 45 de 2020 até a SE 40 de 2021, C - SE 42 de 2021 até a SE 14 de 2022, D - SE 15 de 2022 até a SE 40 de 2022, E - SE 41 de 2022 até a SE 12 de 2023

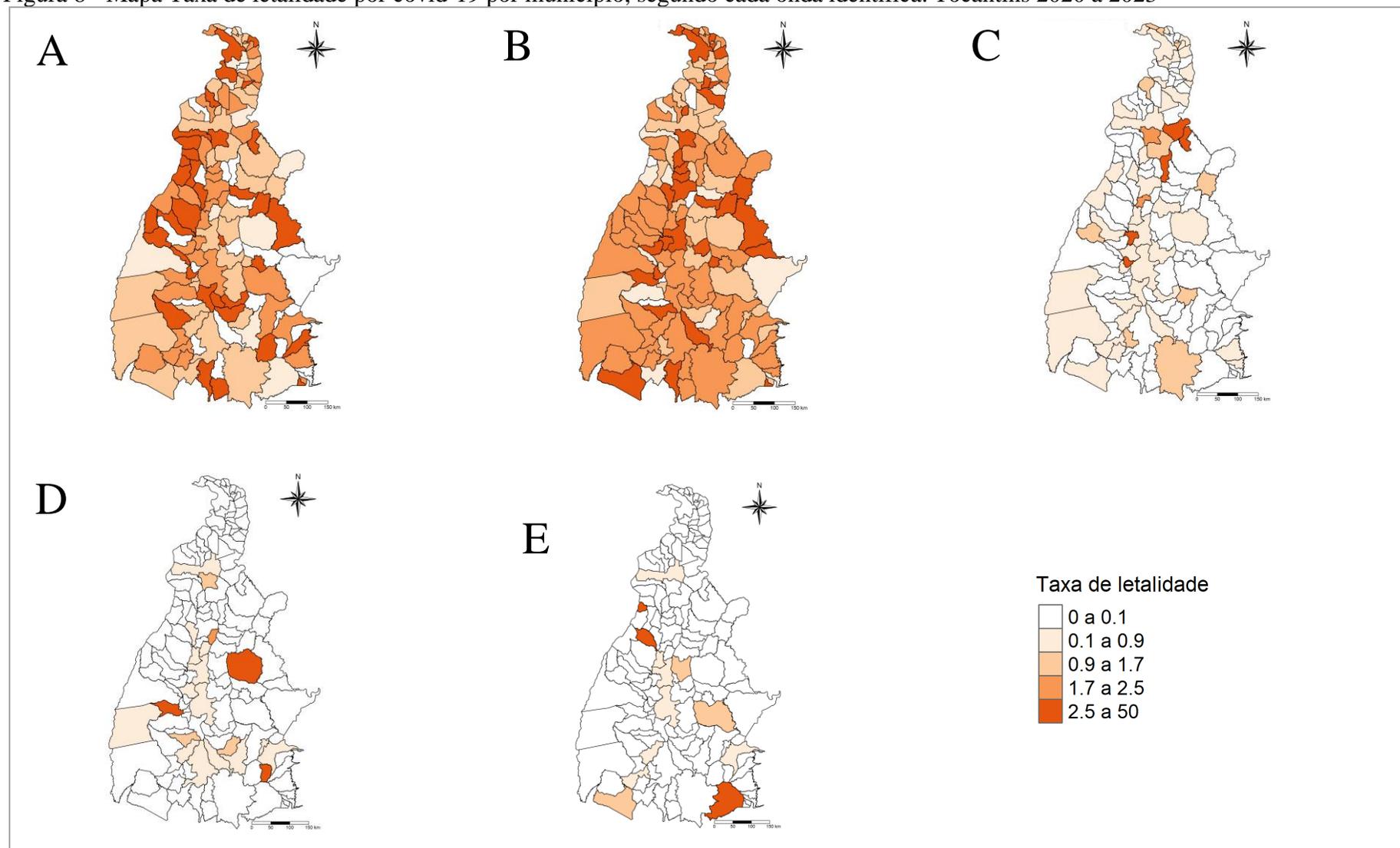
Figura 7 - Mapa Taxa de mortalidade por covid-19 por município, segundo cada onda identificada. Tocantins 2020 a 2023



Fonte: Esus-Notifica

A - SE 12 de 2020 até SE 44 de 2020, B - SE 45 de 2020 até a SE 40 de 2021, C - SE 42 de 2021 até a SE 14 de 2022, D - SE 15 de 2022 até a SE 40 de 2022, E - SE 41 de 2022 até a SE 12 de 2023

Figura 8 - Mapa Taxa de letalidade por covid-19 por município, segundo cada onda identificada. Tocantins 2020 a 2023



Fonte: Esus-Notifica A - SE 12 de 2020 até SE 44 de 2020, B - SE 45 de 2020 até a SE 40 de 2021, C - SE 42 de 2021 até a SE 14 de 2022, D - SE 15 de 2022 até a SE 40 de 2022, E - SE 41 de 2022 até a SE 12 de 2023

6.3 Análise dos indicadores socioeconômicos e de qualidade de saúde dos municípios

Antes de relacionar os indicadores de covid-19 com os indicadores sociais com os de qualidade da saúde dos municípios é importante verificar como está a situação do Tocantins quanto esses indicadores.

6.3.1 Indicadores Sociais

A **Tabela 1** sumariza os indicadores sociais com estatísticas descritivas, pode-se observar que o IDHM varia de 0,500 a 0,788 com uma média de 0,639, indicando um nível moderado de desenvolvimento humano no estado. A mediana de 0,64 e um coeficiente de variação (CV) de 7,13% sugerem uma distribuição relativamente uniforme desse desenvolvimento entre os municípios. O IVS mostra uma variação mais ampla, de 0,210 a 0,623, com uma média de 0,399 e um desvio padrão de 0,088. Esta medida tem um CV de 22,12%, o que indica uma variação considerável na vulnerabilidade social. A mediana de 0,39 aponta para uma vulnerabilidade geralmente moderada.

Por fim, o IDSC oscila entre 0,350 e 0,551, com uma média de 0,418, demonstrando um resultado moderado nos indicadores relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Com um desvio padrão de 0,033 e um CV de 7,85%, a mediana de 0,4. Na **Figura 9** esses resultados são apresentados de forma gráfica e acrescenta-se que foram identificados municípios que tiveram resultados discrepantes no IDHM e IDSC.

Tabela 1 - Indicadores socioeconômicos do estado do Tocantins.

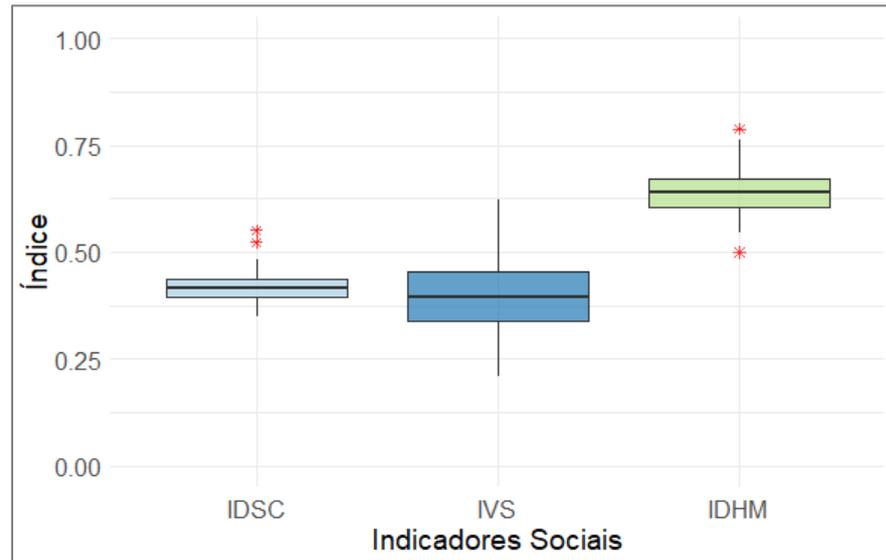
Indicadores	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV (%)	Mediana
IDHM 2010	0,5	0,788	0,639	0,045	7,13	0,64
IVS 2010	0,21	0,623	0,399	0,088	22,12	0,39
IDSC 2021	0,35	0,551	0,418	0,033	7,85	0,41

Fonte: PNUD, IPEA, IDSC-BR

*Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC)

*nota: O IDSC foi dividido por 100 para os índices ficarem padronizados.

Figura 9 - Boxplot dos indicadores sociais IDHM, IVS, IDSC, do estado do Tocantins.



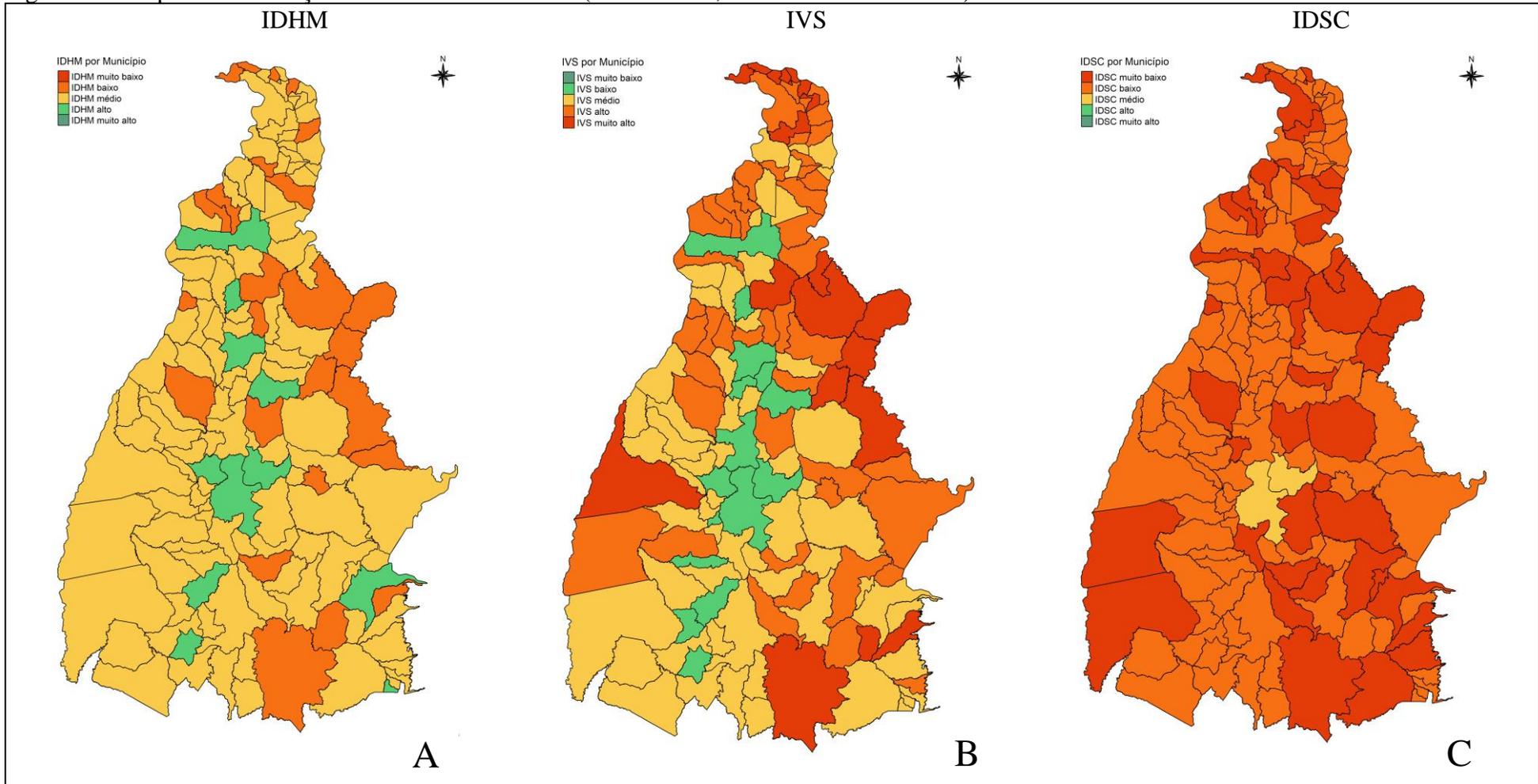
Fonte: próprio autor

Na **Figura 11** apresentamos esses indicadores distribuídos nos municípios por meio de mapa. É notável que 75% dos municípios do Tocantins sejam classificados com um IDHM médio. Este dado sugere que, embora a maioria dos municípios tenha alcançado um nível razoável de desenvolvimento humano, ainda há uma margem significativa para melhorias. Apenas 7% dos municípios alcançam um IDHM alto, indicando que poucas áreas têm acesso superior a serviços essenciais como saúde, educação de qualidade e infraestrutura adequada (**Figura 11A**).

Ao analisar a distribuição do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) em Tocantins, observa-se que uma proporção 46,1%, o que equivale a 64 municípios, estão classificados nas categorias de alto e muito alto índice de vulnerabilidade social. Isso indica que quase metade dos municípios no estado enfrenta sérias dificuldades sociais, econômicas e de infraestrutura, o que pode afetar negativamente a qualidade de vida e o acesso a serviços essenciais (**Figura 11B**).

Por outro lado, apenas 10% dos municípios estão classificados como tendo um IVS muito baixo, sugerindo que poucas áreas possuem condições sociais e econômicas substancialmente melhores em comparação com o restante do estado. A distribuição geográfica desses municípios com IVS muito baixo é notavelmente característica, formando uma linha horizontal no mapa. Esta configuração sugere uma possível correlação regional entre os municípios com melhor infraestrutura e menor vulnerabilidade social, possivelmente devido a fatores como acesso mais fácil a centros urbanos maiores, melhor infraestrutura de transporte, ou políticas públicas locais mais eficazes (**Figura 11B**).

Figura 10 - Mapa da distribuição dos indicadores sociais (IDHM 2010, IVS 2010 e IDSC 2021) do estado do Tocantins



Fonte: Próprio Autor

*Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC)

6.3.2 Indicadores de Saúde

A **Tabela 2** fornece uma descrição dos indicadores de saúde para o estado do Tocantins. A TOE, que mede o número de mortes por 10.000 habitantes que poderiam ser evitadas com acesso apropriado a cuidados de saúde, apresenta uma ampla variação de 5,12 a 68,20, com uma média de 36,10. Isso indica que, em média, 36 pessoas morrem de causas evitáveis por cada 10.000 habitantes no Tocantins. A mediana de 35,7 e um desvio padrão de 10,90, junto a um coeficiente de variação de 30,10%, mostram uma disparidade significativa na prevenção de mortes evitáveis entre diferentes municípios, refletindo a heterogeneidade na qualidade e no acesso aos serviços de saúde.

Por outro lado, a TMI, que reflete o número de óbitos de crianças menores de um ano por 1.000 nascidos vivos, varia entre 0 e 54,00 com uma média de 9,53. O desvio padrão de 12,40 e um coeficiente de variação de 130,0% destacam diferenças na saúde infantil dos municípios. A mediana de 0 sugere que muitos municípios não reportam óbitos infantis, mas a alta variabilidade aponta para áreas críticas onde a mortalidade infantil ainda é um problema grave (**Tabela 2**).

Por fim, a TxL mostra a quantidade de leitos hospitalares disponíveis por 1.000 habitantes, oscilando entre 0 e 4,99 com uma média de apenas 0,69. Um desvio padrão de 1,20 e um coeficiente de variação de 175,0% revelam uma desigualdade na distribuição de leitos hospitalares. A mediana de 0 indica que muitos municípios têm uma capacidade hospitalar extremamente limitada (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Indicadores de saúde do estado do Tocantins, 2020

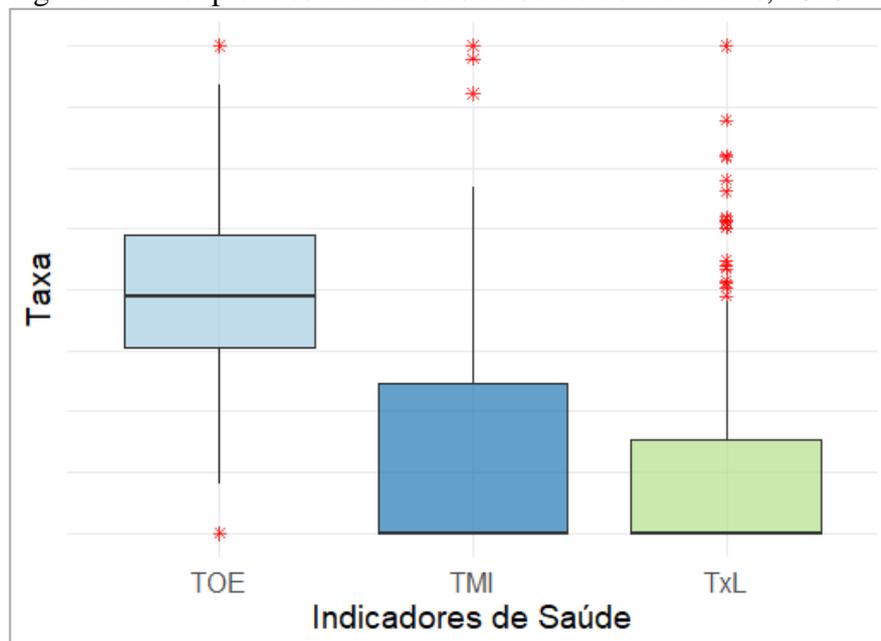
Indicadores	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV (%)	Mediana
TOE	5,12	68	36,1	10,9	30,1	35,7
TMI	0	54	9,53	12,4	130	0
TxL	0	4,99	0,69	1,2	175	0

Fonte: DATASUS

*Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE), Taxa de Mortalidade Infantil (TMI), Taxa de Leitos por 1.000 Habitantes (TxL)

Para aprimorar a análise dos indicadores de saúde, a **Figura 10** é uma boxplot que ilustra visualmente as distribuições dos valores para a Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE), a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI), e Taxa de Leitos por 1.000 Habitantes (TxL). A presença de outliers nesta última categoria é particularmente interessante, indicando diferenças significativas na disponibilidade de leitos hospitalares entre os municípios.

Figura 11 - Boxplot dos indicadores de saúde do Tocantins, 2020



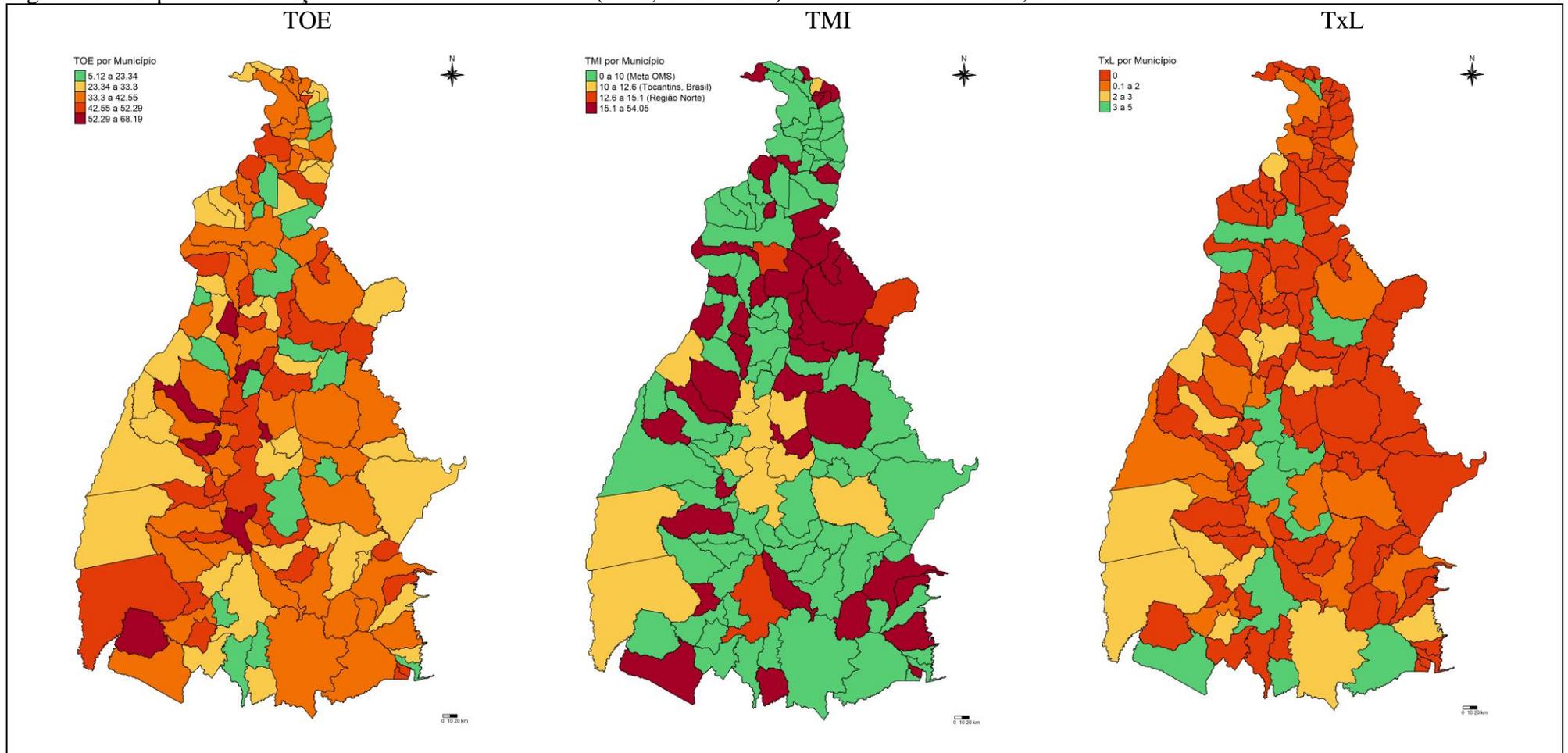
Fonte: Próprio autor

Na **Figura 12** são apresentados os mapas dos indicadores de saúde selecionados para este estudo. No mapa da Taxa de Óbitos Evitáveis (**Figura 12A**), observa-se que o maior percentual de municípios (34,5%) se encontra na categoria intermediária, com taxas que poderiam ter evitado entre 33,3 e 42,55 óbitos a cada 10 mil habitantes. É importante destacar que o mapa revela uma heterogeneidade significativa entre os municípios quanto a esse indicador, com poucos clusters de municípios na mesma faixa de resultado.

Quanto à TMI, representada na **Figura 12B**, destaca-se um cluster na região de saúde Médio Norte Araguaia, com municípios que atingiram as maiores taxas (15,1 a 54,05). No entanto, a grande maioria dos municípios (59,7%) já está alinhada com a meta da Organização Mundial da Saúde (OMS), que é uma taxa menor que 10.

Por fim, o mapa que representa a Taxa de Leitos por 1.000 Habitantes (TxL) indica que 97 municípios (69,8%) não possuem leitos de internação suficientes. Apenas 14 municípios apresentam uma disponibilidade de 3 ou mais leitos por 1.000 habitantes, com a maioria concentrada na região central do estado ao redor da capital, Palmas (**Figura 12C**).

Figura 12 - Mapa da distribuição dos indicadores de saúde (TOE, TMI e TxL) do estado do Tocantins, 2020



Fonte: Próprio autor

*Taxa de óbitos evitáveis (TOE), Taxa de mortalidade infantil (TMI), Leitos por 1.000 habitantes (LxH)

6.4 Modelagens utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

As duas próximas seções apresentam os resultados de doze modelos estatísticos desenvolvidos para analisar a taxa de incidência e mortalidade com os indicadores sociais e de saúde. Os seis primeiros relacionados a taxa de incidência foram apresentadas figuras com três gráficos, o primeira mostra o comportamento da taxa em relação ao tempo em seguida taxa em relação ao indicador e por fim o último mostra efeito parcial das coordenadas geográficas da relação entre a taxa e variáveis independentes. Quanto as figuras dos modelos da taxa de mortalidade apresentam a taxa de mortalidade com indicador, a relação do percentual de idosos no modelo, a relação do tempo e por fim o gráfico de Worm Plot utilizado para avaliação do modelo.

As análises dos resíduos estão disponíveis no apêndice e incluem gráficos de diagnóstico que ajudam a identificar qualquer desvio dos pressupostos, como a homocedasticidade e a normalidade dos resíduos.

6.4.1 Modelagem da taxa de incidência versus indicadores

A relação entre a taxa de incidência de covid-19 e o tempo, apresentada nas **Figuras 13 a 18**, demonstrou um comportamento bastante consistente em todas as modelagens. Nos modelos analisados, observa-se que a taxa de incidência cresceu exponencialmente nas primeiras semanas do estudo, alcançando picos antes de mostrar uma tendência de queda nas semanas subsequentes. Este padrão é claramente refletido pela significância dos termos de suavização para a variável 'tempo' em cada modelo, indicando que as variações temporais na taxa de incidência são significativas.

6.4.1.1 Taxa de Incidência de covid-19 versus Indicadores Sociais

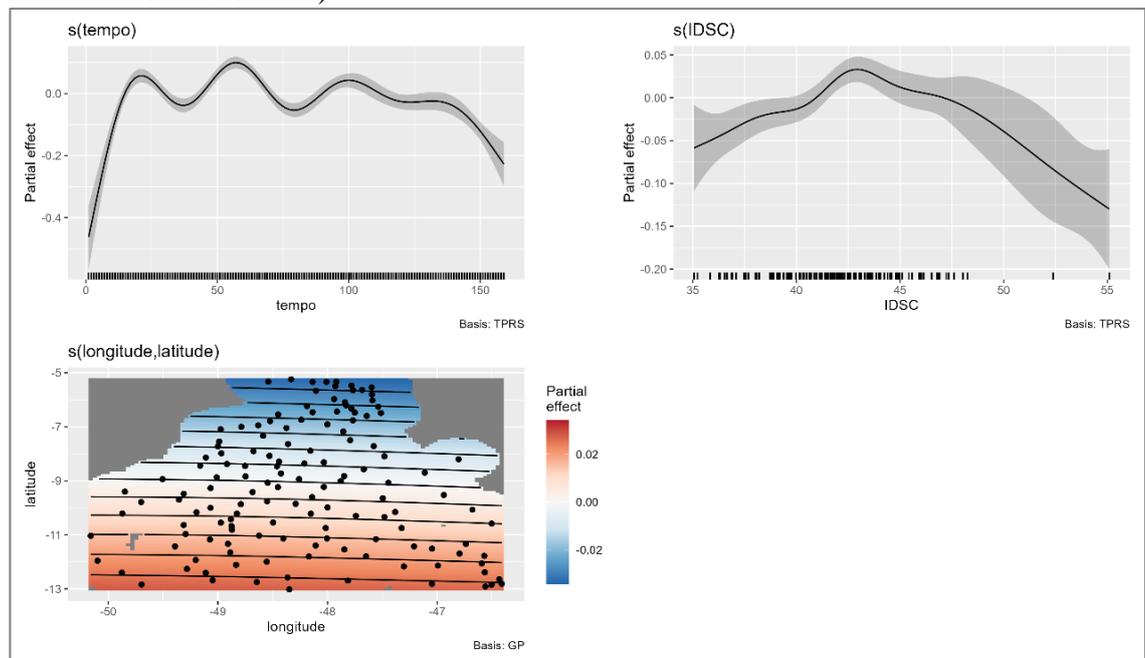
Ao avaliar a relação entre a taxa de incidência de covid-19 e o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC), observou-se um comportamento não linear significativo. Inicialmente, a taxa de incidência apresenta um leve aumento nos municípios com IDSC classificados como "muito baixo" (0 a 39,99) e "baixo" (40 a 49,99). No entanto, a partir de um índice próximo de 45, essa relação se inverte, indicando que, à medida que o IDSC dos municípios melhora, a taxa de incidência tende a diminuir. Este comportamento é capturado pelo termo de suavização para o IDSC ($\text{edf} = 6.279$, $p < 0,001$), reforçando a presença de uma relação não-linear significativa entre os dois indicadores (**Figura 13**).

Além disso, ao espacializar os resultados, verifica-se uma variação geográfica clara. Nos municípios localizados na parte superior do mapa, ou seja, nas regiões ao norte do Tocantins, existe uma relação negativa entre a taxa de incidência e o IDSC, o que significa que quanto maior o índice de desenvolvimento sustentável, menor é a incidência da COVID-19. Em contraste, nos municípios situados na parte inferior do mapa, localizados nas regiões ao sul do Estado, a relação é oposta, com um aumento da taxa de incidência acompanhando um maior IDSC.

Essa heterogeneidade espacial é confirmada pelo termo de suavização para as coordenadas geográficas (longitude e latitude), que também se mostrou significativo ($\text{edf} = 2.345$, $p < 0,001$). Esse resultado ressalta a importância de considerar as variações espaciais na análise da dinâmica da COVID-19, uma vez que o comportamento da taxa de incidência pode variar substancialmente entre diferentes regiões do estado.

Por fim, o modelo ajustado explicou aproximadamente 15,4% da deviance dos dados, com um R^2 ajustado de 15,5% indicando que, embora o modelo capte uma parte importante da variação na taxa de incidência, fatores adicionais provavelmente influenciam a dinâmica da doença nos municípios.

Figura 13 - Modelo 1 - Taxa de Incidência versus IDSC (Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades)



Fonte: próprio Autor

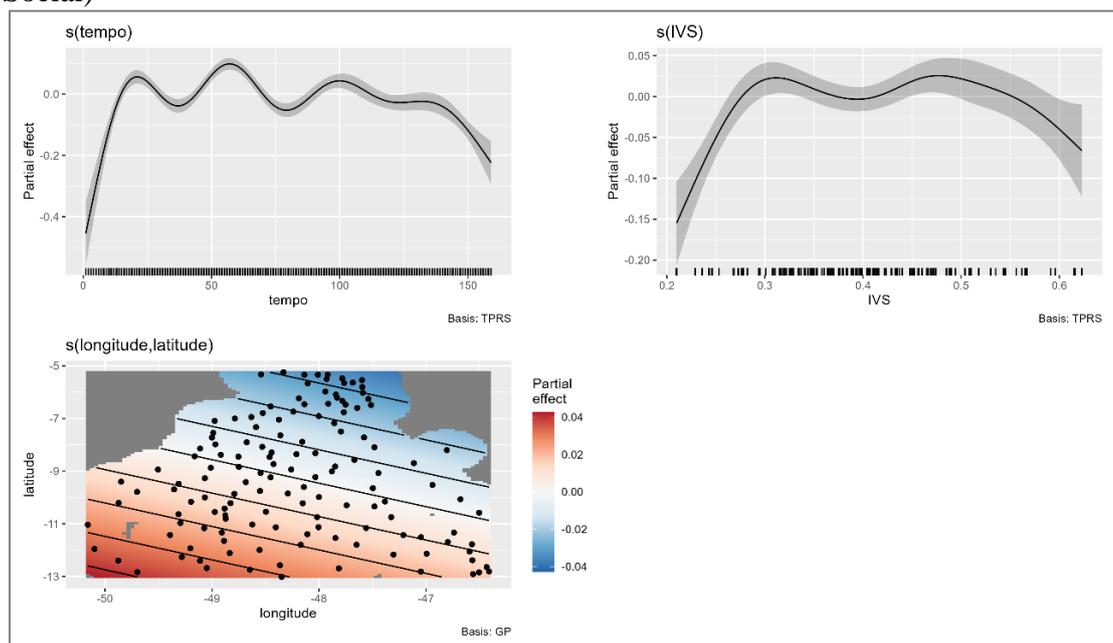
Na **Figura 14**, apresentamos o modelo 2, que explora a relação entre a taxa de incidência de covid-19 e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Observa-se um padrão não linear

significativo na relação entre essas variáveis. Inicialmente, há um aumento da taxa de incidência conforme o IVS aumenta, atingindo um pico em torno do valor de 0,3. Após esse ponto, a taxa de incidência permanece relativamente estável, com pequenas variações, até o índice de 0,5. Para os municípios com IVS superior a 0,5, classificados com vulnerabilidade social muito alta, observa-se uma tendência de queda na taxa de incidência. Esse comportamento é refletido pelo termo de suavização para o IVS, que apresentou um $edf = 5.934$ e $p\text{-valor} < 0,001$, indicando uma relação não-linear significativa entre essas variáveis.

Ao geoespacializar os resultados, a Figura 14 revela um padrão espacial heterogêneo na relação entre a taxa de incidência e o IVS. No extremo norte do estado, predomina uma relação negativa mais acentuada, ou seja, quanto maior o IVS, menor a taxa de incidência. Em contrapartida, no extremo sul, a relação se inverte, sendo positiva, com taxas de incidência mais elevadas em municípios com maior vulnerabilidade social. Nos municípios centrais do estado, as relações entre as variáveis são mais fracas. Essa variabilidade espacial é confirmada pelo termo de suavização para as coordenadas geográficas (longitude e latitude), que apresentou $edf = 2.001$ e um $p\text{-valor} < 0,001$, reforçando a importância das variações geográficas na dinâmica da covid-19.

O modelo ajustado explicou aproximadamente 15,9% da deviance, com um R^2 ajustado de 0,158, o que indica que, embora o modelo capture uma parte importante da variação na taxa de incidência, há outros fatores que influenciam a propagação da covid-19 nos municípios do estado.

Figura 14 - Modelo 2 – Taxa de Incidência versus IVS – (Índice de Vulnerabilidade Social)



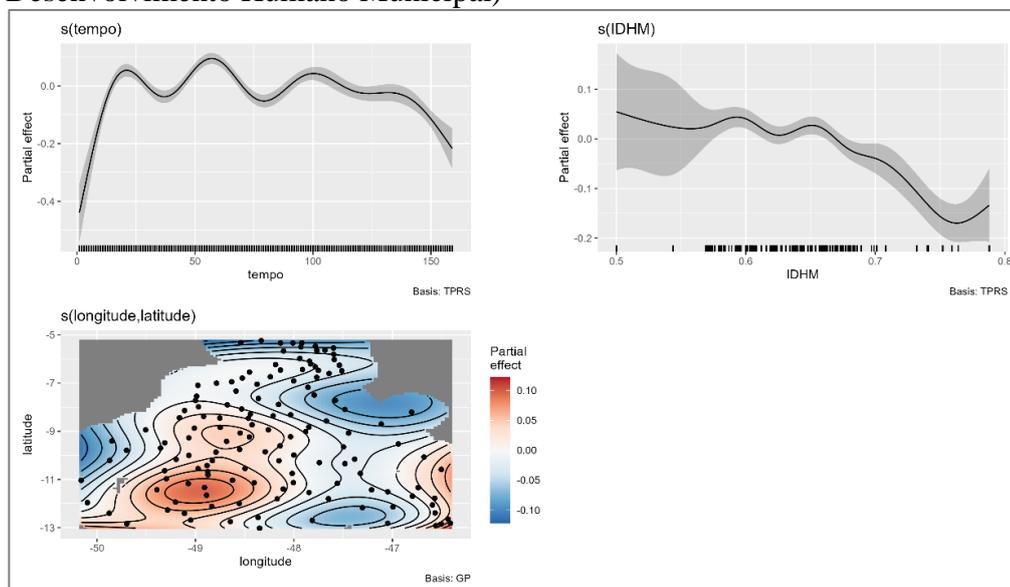
Fonte: próprio Autor

Os resultados do Modelo 3 (**Figura 15**) evidenciam a relação não-linear significativa entre a taxa de incidência de COVID-19 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Nos municípios com IDHM baixo (entre 0,5 e 0,6), observa-se um intervalo de confiança mais amplo, sugerindo uma maior imprecisão nas estimativas para esses valores de IDHM. Isso pode indicar uma maior incerteza nas taxas de incidência para municípios com menor desenvolvimento humano. No entanto, à medida que o IDHM aumenta, especialmente a partir de 0,6, há uma clara tendência de queda na taxa de incidência, demonstrando uma relação inversa entre essas variáveis. Isso significa que, quanto maior o desenvolvimento humano do município, menor é a taxa de incidência de COVID-19. O termo de suavização para o IDHM apresentou um $\text{edf} = 7.944$ e $p < 0,001$, reforçando a existência de uma relação não-linear significativa.

Na análise de geoespacialização, verificam-se a formação de clusters espaciais, onde alguns municípios apresentam uma relação positiva entre o IDHM e a taxa de incidência, enquanto outros mostram uma relação negativa. Essa variação espacial é capturada pelo termo de suavização para as coordenadas geográficas (longitude e latitude), que mostrou um $\text{edf} = 16.108$ e $p < 0,001$, confirmando a consistência estatística e a significância dessas variações geográficas na propagação da COVID-19.

O modelo ajustado explica aproximadamente 20% da deviance, com um R^2 ajustado de 0,198, indicando que o IDHM e as coordenadas espaciais são variáveis importantes na explicação da taxa de incidência de COVID-19, embora outros fatores adicionais possam estar influenciando a disseminação da doença nos municípios.

Figura 15 - modelo 3 – Taxa de Incidência versus IDHM – (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)



Fonte: próprio Autor

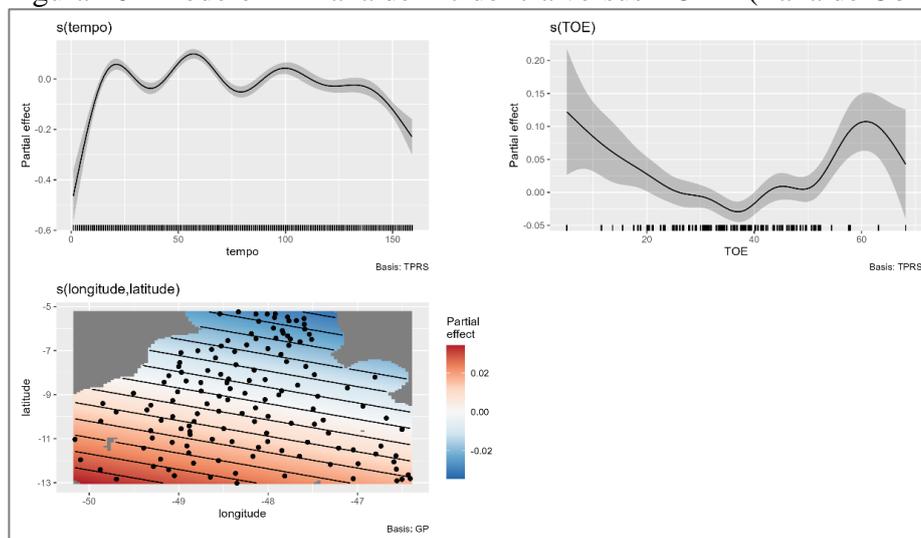
6.4.1.2 Taxa de Incidência de covid-19 versus Indicadores de Saúde

O Modelo 4 (**Figura 16**) analisa a relação entre a taxa de incidência de COVID-19 e a Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE). Os resultados indicam que essa relação é estatisticamente significativa, com um p-valor $< 0,001$ e um termo de suavização não-linear com $\text{edf} = 7.963$, sugerindo uma complexa dinâmica entre essas variáveis. Inicialmente, observa-se um efeito positivo da TOE sobre a taxa de incidência, que vai diminuindo até o valor de TOE próximo de 40. A partir desse ponto, o efeito da TOE sobre a taxa de incidência aumenta, indicando que, quanto maior a taxa de óbitos evitáveis, maior é o impacto positivo na taxa de incidência de COVID-19.

A geoespacialização dos resultados reforça a heterogeneidade espacial dessa relação. No extremo norte do estado, a relação é negativa e acentuada, o que sugere que municípios com maiores taxas de óbitos evitáveis apresentam menores taxas de incidência de covid-19. Em contrapartida, no extremo sul, a relação é positiva, com municípios de maior vulnerabilidade apresentando taxas de incidência mais elevadas. Na região central do estado, as relações são mais fracas, sem uma tendência clara. Essa variabilidade espacial é capturada pelo termo de suavização das coordenadas geográficas (longitude e latitude), que apresentou $\text{edf} = 2.003$ e p-valor $< 0,001$, confirmando a importância das variações geográficas na propagação da covid-19.

O modelo ajustado explica cerca de 15,4% da deviance (R^2 ajustado de 0,156), o que indica que, embora a TOE e as coordenadas espaciais expliquem parte da variação na taxa de incidência, outros fatores também podem estar influenciando a disseminação da doença nos municípios tocantinentes.

Figura 16 - modelo 4 – Taxa de Incidência versus TOE – (Taxa de Óbitos Evitáveis)



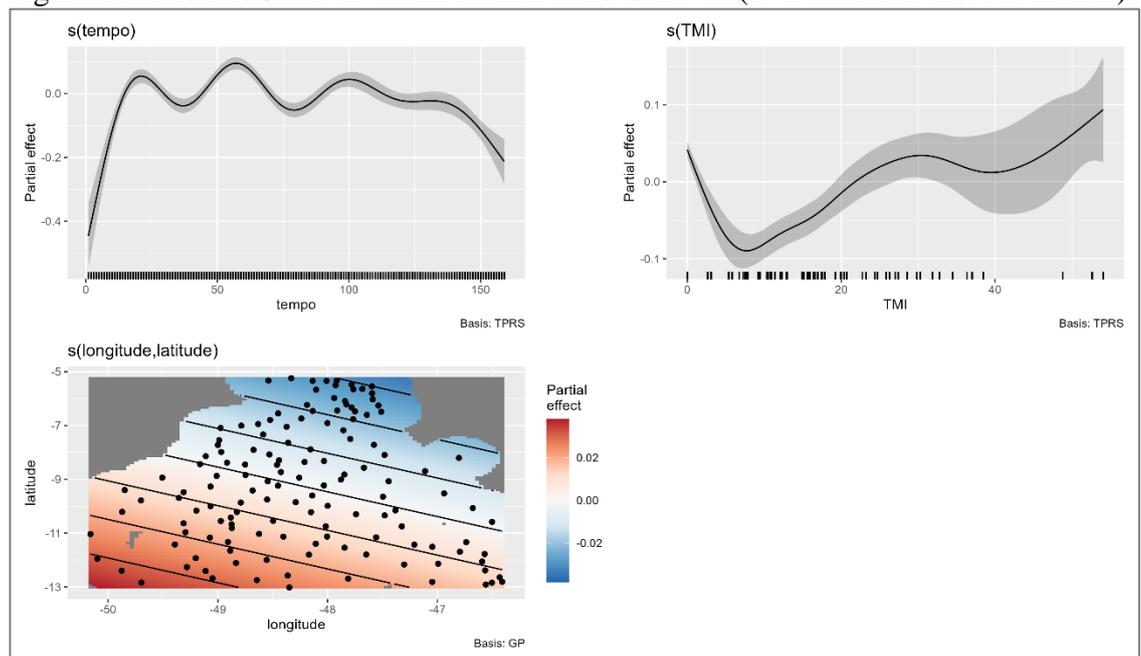
Fonte: próprio Autor

O Modelo 5 (**Figura 17**) investiga a relação entre a taxa de incidência de covid-19 e a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI). A análise revelou uma relação não-linear significativa entre essas variáveis, com $edf = 6.488$ e $p\text{-valor} < 0,001$. Inicialmente, a relação é positiva, no entanto, há um declínio do efeito na taxa de incidência para os municípios com TMI próxima de 10. Após esse ponto, à medida que a TMI continua a aumentar, o efeito sobre a taxa de incidência cresce exponencialmente, sugerindo que, em contextos de TMI elevada, há um impacto ainda mais acentuado na disseminação da covid-19.

A geoespacialização dos resultados fornece informações adicionais sobre como essa relação varia em diferentes regiões do estado. Na região norte e nordeste, observa-se uma relação negativa, onde uma TMI mais elevada está associada a uma menor taxa de incidência de covid-19. Por outro lado, nas regiões sul e sudoeste, a relação é positiva, com municípios nessas áreas exibindo taxas de incidência mais altas conforme a TMI aumenta. Essa variação regional é estatisticamente significativa, com o termo de suavização para as coordenadas geográficas apresentando $edf = 2.001$ e $p\text{-valor} < 0,001$, indicando que as diferenças espaciais influenciam fortemente a dinâmica da covid-19 no Tocantins.

Os resultados indicam que o modelo explicou 20,7% da deviance (R^2 ajustado de 0,207), sugerindo que a TMI e a localização geográfica são fatores importantes na variação da taxa de incidência de covid-19 nos municípios tocantinenses, embora outros fatores também devam ser considerados.

Figura 17 - Modelo 5 – Taxa de Incidência versus TMI – (Taxa de Mortalidade Infantil)



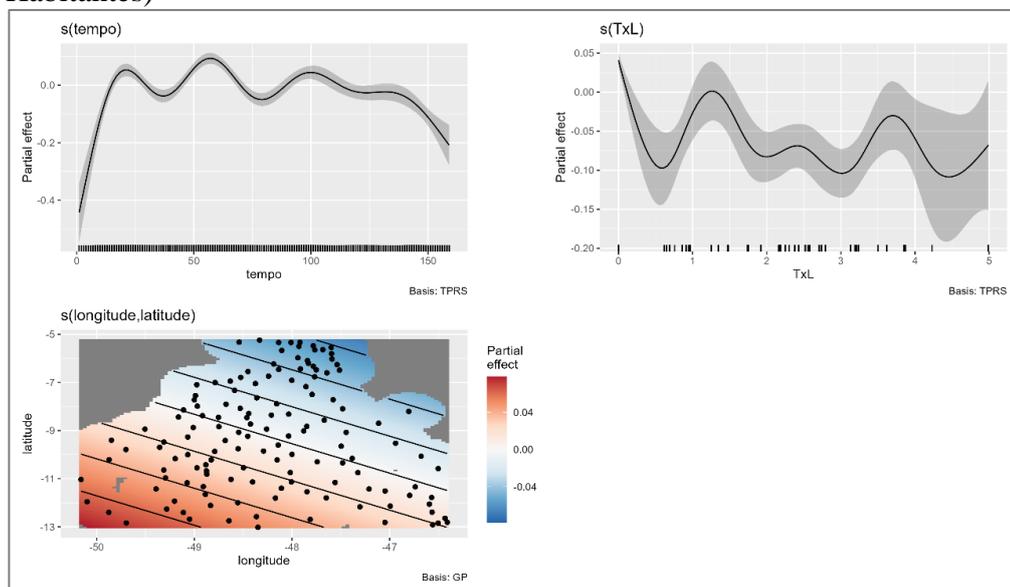
Fonte: próprio Autor

Os resultados do Modelo 6 (**Figura 18**) examinam a relação entre a taxa de leitos hospitalares por 1.000 habitantes (TxL) e a taxa de incidência de COVID-19. O gráfico revela um padrão não linear significativo, conforme indicado pelo valor de edf = 8.307 e p-valor < 0,001, sugerindo uma dinâmica complexa. Embora não haja um padrão claro ao longo de todo o intervalo de valores da TxL, observa-se que, quando o município atinge aproximadamente 3 leitos por 1.000 habitantes, há um efeito negativo mais acentuado sobre a taxa de incidência. Isso sugere que os municípios com cerca de 3 leitos por 1.000 habitantes tendem a apresentar uma menor taxa de incidência, possivelmente indicando uma maior capacidade de resposta à pandemia.

A geoespacialização dos resultados fornece uma visão detalhada das variações regionais. Na região norte e nordeste, a relação entre a TxL e a taxa de incidência é negativa, ou seja, municípios com maior disponibilidade de leitos apresentam uma menor taxa de incidência de COVID-19. Em contraste, nas regiões sul e sudoeste, a relação é positiva, sugerindo que os municípios com maior número de leitos estão associados a taxas de incidência mais altas. Essa heterogeneidade espacial é confirmada pelo termo de suavização para as coordenadas geográficas, que apresentou edf = 2.004 e p-valor < 0,001, indicando que a localização geográfica influencia de maneira significativa a disseminação da COVID-19 no Tocantins.

O modelo explicou 21% da deviance (R^2 ajustado de 0.209), reforçando que tanto a TxL quanto as variações geográficas desempenham um papel relevante na taxa de incidência de covid-19 entre os municípios tocantinenses.

Figura 18 - modelo 6 – Taxa de Incidência versus TxL – (Taxa de Leito por 1000 Habitantes)



Fonte: próprio Autor

6.4.2 Modelagem da taxa de mortalidade versus indicadores

Apesar das várias tentativas de ajustar um modelo adequado para a taxa de mortalidade, os resultados não atingiram o nível de precisão esperado. No entanto, é importante apresentar e descrever esses esforços, uma vez que eles contribuem para o entendimento das dificuldades encontradas e fornecem insights valiosos para futuros trabalhos.

Em todos os modelos testados, foi utilizada a figura Worm Plot para avaliar os resíduos. Idealmente, os pontos no Worm Plot deveriam estar distribuídos de forma aleatória em torno da linha horizontal no eixo Y (em torno de zero), sem um padrão claro. Isso indicaria que os resíduos seguem a distribuição teórica esperada, sugerindo que o modelo está bem ajustado aos dados.

No entanto, as figuras revelam um cenário diferente. Em todos os modelos, esse padrão ideal não foi observado, o que indica que os resíduos não seguem perfeitamente a distribuição teórica prevista. Esse desvio sugere que há aspectos dos dados ou da estrutura dos modelos que não foram totalmente capturados, o que pode requerer ajustes adicionais ou a consideração de modelos alternativos para melhorar o ajuste.

Mesmo que o modelo final não tenha sido plenamente satisfatório, a análise realizada oferece uma visão crítica dos desafios na modelagem da mortalidade em um contexto de pandemia. A complexidade dos dados, incluindo a superdispersão e a inflação de zeros, bem como as interações não lineares entre os indicadores de saúde, revelaram-se obstáculos significativos na obtenção de um ajuste robusto e confiável.

Por isso, a descrição dos modelos testados, incluindo as técnicas empregadas e os desafios enfrentados, serve como uma base para a continuidade da pesquisa, permitindo que futuras abordagens sejam mais direcionadas e possivelmente mais eficazes.

6.4.2.1 Taxa de Mortalidade de covid-19 versus Indicadores Sociais

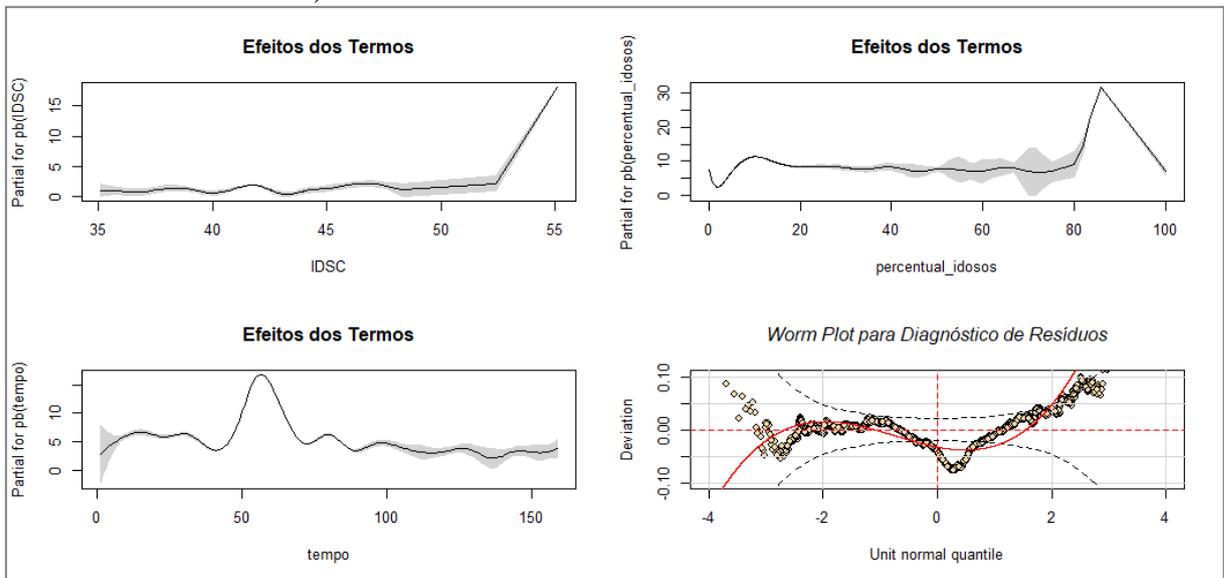
No Modelo 7, representado na **Figura 16**, foi inserido o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) como uma covariável, o que permitiu observar padrões distintos na taxa de mortalidade. Inicialmente, a taxa de mortalidade permanece relativamente estável até que o IDSC ultrapasse o valor de 50. A partir desse ponto, observa-se um aumento exponencial na taxa de mortalidade, sugerindo que os municípios com IDSC mais elevado enfrentam maiores desafios no controle da mortalidade por covid-19.

Em relação ao percentual de idosos, os resultados indicam que a taxa de mortalidade começa a aumentar significativamente quando mais de 80% dos casos confirmados são da

população idosa. Esse achado reforça a vulnerabilidade dessa faixa etária, que já é conhecida por ser mais suscetível a complicações graves da covid-19.

Por fim, a análise temporal revela um aumento da taxa de mortalidade após a semana 50, seguido por uma estabilização. Esse comportamento pode refletir o impacto de intervenções de saúde pública, mudanças na estratégia de tratamento ou o efeito de outras variáveis contextuais que se estabilizam ao longo do tempo.

Figura 19 - modelo 7 - Taxa de Mortalidade versus IDSC (Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades)



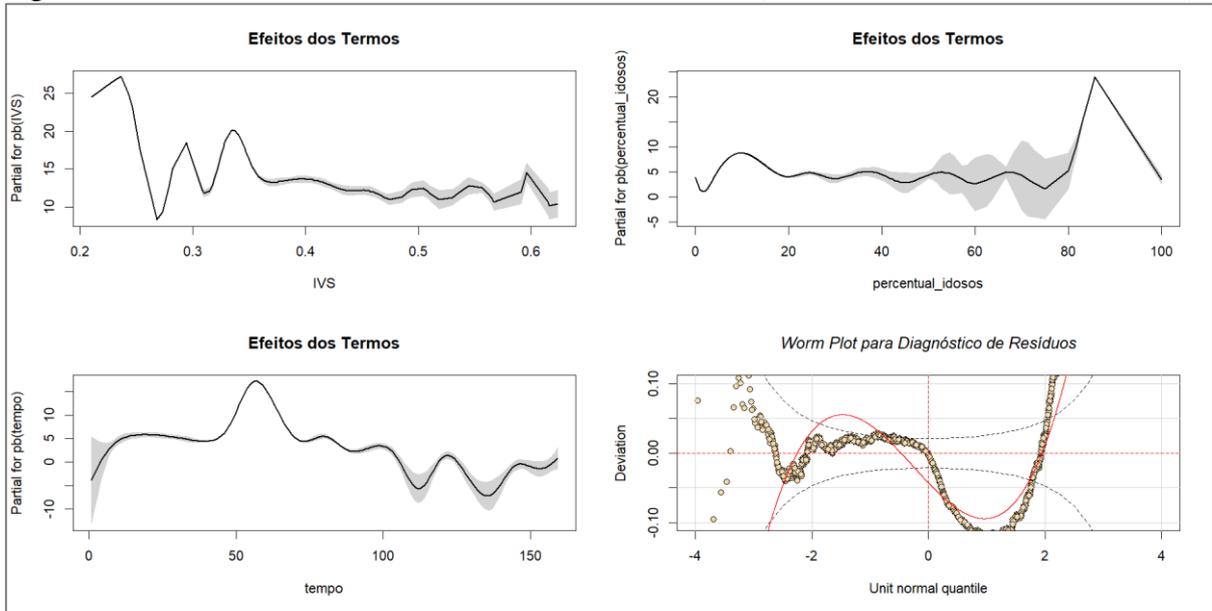
Fonte: próprio Autor

No modelo 8, identifica-se uma relação não linear entre a taxa de mortalidade e o Índice de Vulnerabilidade Social dos municípios. Observa-se que as maiores taxas de mortalidade estão associadas a municípios menos vulneráveis. A partir de um índice de vulnerabilidade de aproximadamente 0,35, a taxa de mortalidade se estabiliza, embora ainda sejam observadas pequenas variações (**Figura 20**).

Quanto ao percentual de idosos, o comportamento do gráfico é semelhante ao observado no modelo 7, mostrando um aumento significativo na taxa de mortalidade quando mais de 80% dos casos confirmados são em idosos, evidenciando novamente a elevada vulnerabilidade dessa população.

Por fim, a análise temporal revela um aumento de óbitos em torno da semana 50, seguido por uma oscilação entre as semanas 100 e 150. Essa variação pode refletir fatores contextuais como mudanças nas políticas de saúde pública, variações na intensidade da pandemia ou alterações no comportamento populacional ao longo do tempo.

Figura 20 - Modelo 8 - Taxa de Mortalidade versus IVS – (Índice de Vulnerabilidade Social)



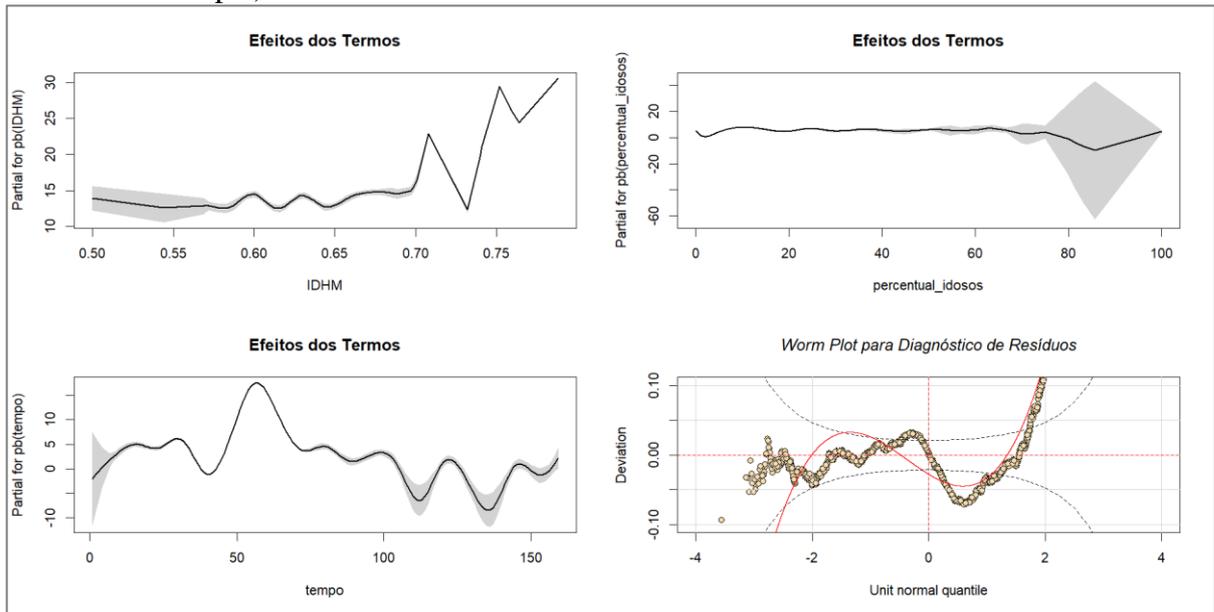
Fonte: próprio Autor

No Modelo 9, foi inserido o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para avaliar sua relação com a taxa de mortalidade. Os resultados indicaram que, a partir de um IDHM de 0,70, houve um aumento na taxa de mortalidade, embora com algumas variações ao longo dessa faixa. Esse aumento sugere que municípios com um IDHM mais elevado podem enfrentar desafios específicos que contribuem para a mortalidade por covid-19 (**Figura 21**).

Por outro lado, ao contrário de modelos anteriores, o modelo 9 não revelou uma relação significativa entre o percentual de idosos e a taxa de mortalidade, indicando que, neste caso, o IDHM pode ser um fator mais relevante para explicar as variações na mortalidade.

A análise temporal no modelo 9 segue o mesmo padrão observado no modelo 8, com um aumento de óbitos em torno da semana 50 e oscilações entre as semanas 100 e 150, o que pode refletir a influência de fatores contextuais ou mudanças nas políticas públicas ao longo do tempo.

Figura 21 - - modelo 9 - Taxa de Mortalidade versus IDHM – (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)

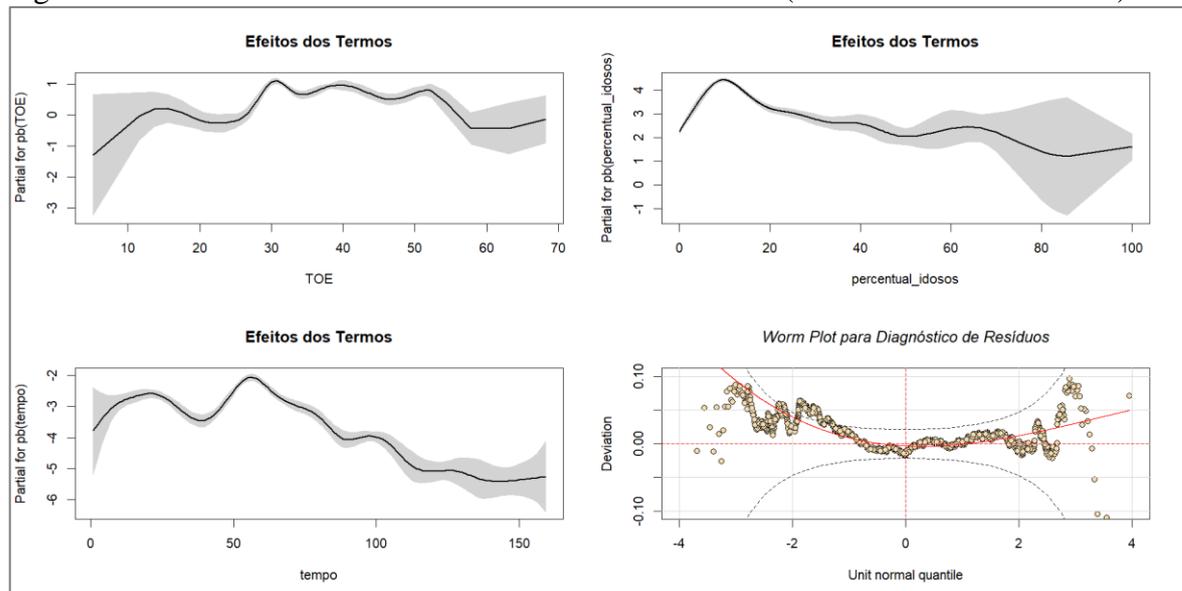


Fonte: próprio Autor

6.4.2.2 Taxa de Mortalidade de covid-19 versus Indicadores Saúde

No Modelo 10, foi inserida a Taxa de Óbitos Evitáveis (TOE) para avaliar sua influência na taxa de mortalidade. No entanto, os resultados indicaram que a TOE e o percentual de idosos apresentam intervalos de confiança amplos, o que impede a identificação de um padrão claro ou consistente nessas variáveis. A análise temporal no Modelo 10 segue o mesmo padrão observado nos modelos anteriores, com variações ao longo do tempo que refletem os mesmos comportamentos identificados previamente (**Figura 22**).

Figura 22 - modelo 10 - Taxa de Mortalidade versus TOE – (Taxa de Óbitos Evitáveis)

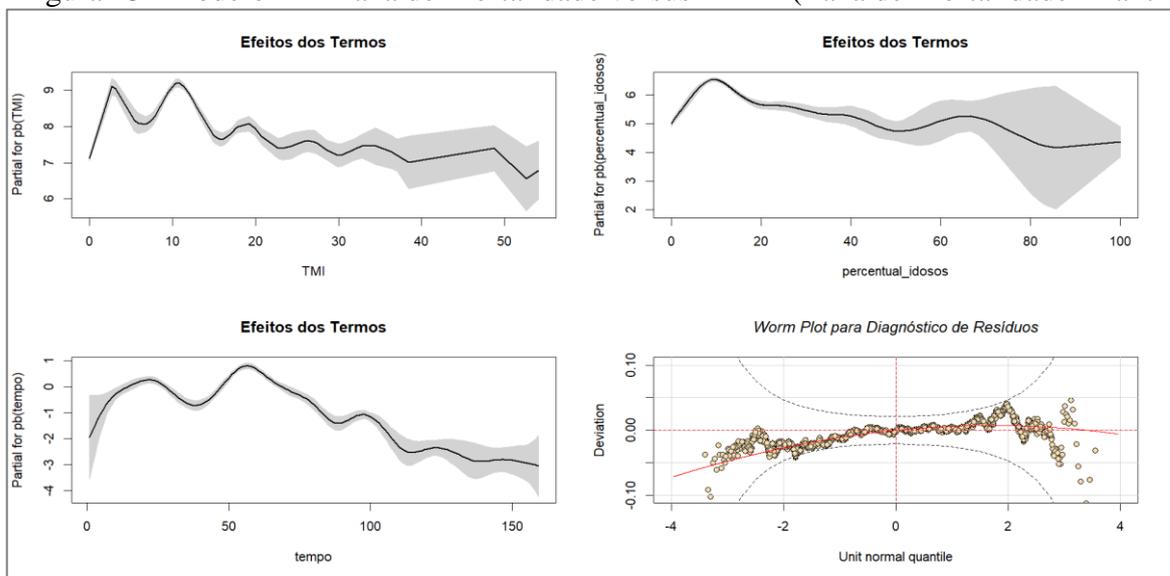


Fonte: próprio Autor

No Modelo 11, foi inserida a Taxa de Mortalidade Infantil (TMI) para avaliar sua relação com a mortalidade por covid-19. Os resultados indicam que, à medida que a TMI aumenta, há uma tendência de redução na taxa de mortalidade por covid-19. No entanto, essa interpretação deve ser feita com cautela, pois o intervalo de confiança é bastante amplo, o que gera incerteza significativa em torno dessa relação (**Figura 23**).

A mesma incerteza é observada para a variável percentual de idosos, onde os amplos intervalos de confiança dificultam a identificação de um padrão consistente. Já a análise temporal no modelo 11 mantém o padrão observado nos modelos anteriores, com variações ao longo do tempo que refletem comportamentos já identificados previamente.

Figura 23 - modelo 11 - Taxa de Mortalidade versus TMI – (Taxa de Mortalidade Infantil)

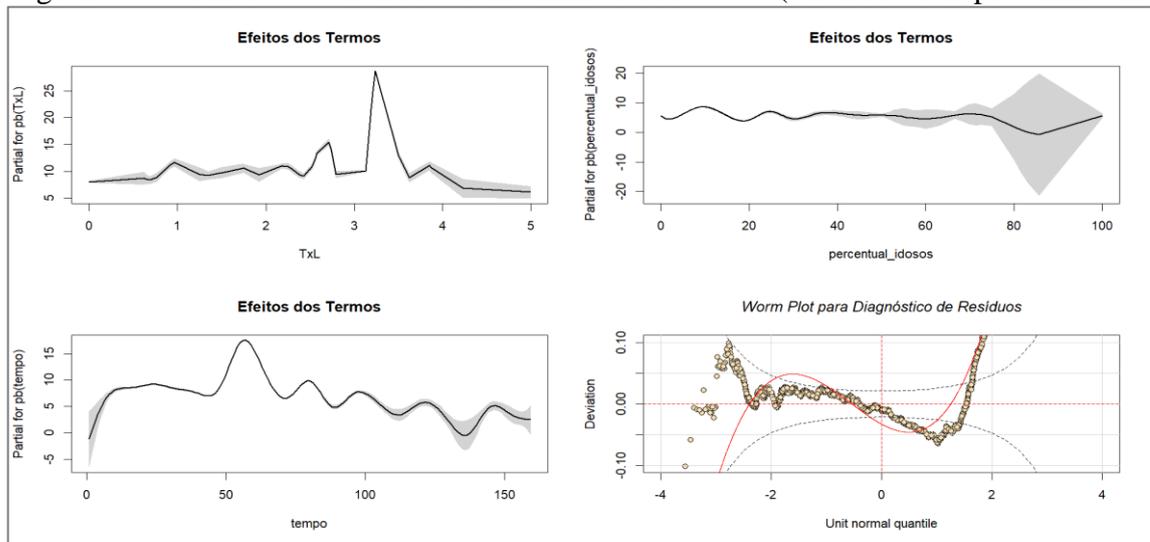


Fonte: próprio Autor

No Modelo 12, foi inserido o indicador Taxa de Leitos por 1000 Habitantes (TxL) para analisar sua influência na taxa de mortalidade por covid-19. Os resultados mostram que há um aumento na taxa de mortalidade nos municípios que possuem aproximadamente 3,5 leitos por 1000 habitantes (**Figura 24**).

Em relação ao percentual de idosos, o modelo não permite tirar conclusões definitivas, pois a linha correspondente é praticamente constante, indicando uma falta de variação significativa. Quanto à análise temporal, o modelo segue o mesmo padrão dos anteriores, embora com mais variações ao longo do tempo, o que pode indicar flutuações na mortalidade relacionadas a fatores temporais ainda não completamente capturados.

Figura 24 - modelo 12 - Taxa de Mortalidade versus TxL – (Taxa de Leito por 1000 Habitantes)



Fonte: próprio Autor

7 DISCUSSÕES

Este estudo investigou a relação entre as taxas de incidência e de mortalidade por COVID-19 com indicadores que representam a situação socioeconômica e de saúde dos municípios tocantinenses. Os resultados apresentados são importantes para entender as características que tornam os municípios mais vulneráveis durante uma pandemia. Segundo Rollston e Galea (2020), a pandemia de covid-19 destacou a importância dos determinantes sociais de saúde na capacidade dos países de enfrentarem crises sanitárias, e ainda afirmaram que o desinvestimento nas condições sociais, como moradia, educação e segurança pública, cria desafios adicionais para conter a disseminação do vírus e reduzir as mortes associadas.

Neste estudo, foi observado um efeito claro dos indicadores socioeconômicos e de saúde sobre a taxa de incidência de covid-19. Todos os modelos apresentados mostraram que, quando os municípios apresentam bons resultados nos indicadores selecionados, essa característica reduz a taxa de incidência.

Nossos resultados confirmam o que diversos estudos já apontaram: municípios que apresentam indicadores críticos, como o IVS, IDHM e IDSC, mostram um impacto mais acentuado na taxa de incidência de covid-19 (Silva et al., 2021; Brito et al., 2022; Szwarcwald et al., 2022; Müller e Silva, 2021).

No presente estudo, verificou-se que à medida que o IDHM dos municípios aumenta, a taxa de incidência de covid-19 diminui. Esse comportamento pode ser explicado pelas melhores condições de vida em municípios com IDHM mais elevado, que tendem a possuir uma infraestrutura de saúde mais adequada, acesso a serviços de saúde de qualidade e uma população com melhores condições econômicas, sociais e educacionais, o que resulta em menor vulnerabilidade à pandemia Brito e colaboradores (2022).

Além disso, estudos como o de Szwarcwald e colaboradores (2022) ressaltam que as taxas de mortalidade por covid-19 são significativamente maiores entre as populações menos escolarizadas, um componente-chave do IDHM. Essa relação evidencia a vulnerabilidade dos municípios com menores níveis de desenvolvimento humano, onde a baixa escolaridade, desvantagens econômicas e o acesso inadequado aos serviços de saúde agravaram o impacto da pandemia.

Contudo, ao analisar a relação entre o IDHM e a taxa de mortalidade neste estudo, foi observado um comportamento diferente. Nos municípios com IDHM elevado também apresentaram altas taxas de mortalidade por COVID-19, um resultado que diverge do padrão observado para a incidência. Uma característica encontrada também por Brito e colaboradores (2022) que destacaram que distritos com maior IDHM apresentaram menores taxas de

mortalidade. Esse achado pode estar relacionado à sobrecarga dos sistemas de saúde em regiões mais desenvolvidas e à maior densidade populacional, o que eleva o número de complicações graves e, conseqüentemente, a mortalidade. Outros estudos, como o de Lima e colaboradores (2021), também apontaram que regiões com IDHM elevado podem enfrentar taxas de mortalidade mais altas, mesmo com sistemas de saúde mais robustos, em função da pressão gerada pela demanda excessiva em momentos críticos da pandemia.

Uma situação que chamou atenção foi o fato da imprecisão na avaliação da relação quando o IDHM dos municípios era menor que 0,6. Em alguns desses municípios, observou-se uma taxa de incidência de covid-19 mais baixa, o que parece contraditório, dada a condição precária em que se encontram. No entanto, é importante considerar a possibilidade de subnotificação de casos nesses locais, o que pode influenciar os resultados e mascarar o verdadeiro impacto da pandemia. Estudos como o de Barcellos e Xavier (2022) indicam que, durante as primeiras fases da pandemia, houve uma expansão desigual do vírus no Brasil, com um crescimento mais lento nas regiões menos desenvolvidas e uma subnotificação significativa de casos devido à menor capacidade de testagem e vigilância epidemiológica. Essa dinâmica foi especialmente observada em municípios menores e com condições mais precárias de infraestrutura de saúde, como muitos dos que apresentam IDHM baixo.

Além da subnotificação, outros fatores podem ter contribuído para a aparente contradição entre o baixo IDHM e as menores taxas de incidência. A mobilidade populacional reduzida em regiões menos urbanizadas, bem como uma possível menor circulação de pessoas entre municípios, pode ter diminuído a velocidade de propagação do vírus em alguns contextos. No entanto, esses fatores não reduzem a vulnerabilidade geral dessas populações, que, ao serem menos detectadas nos registros epidemiológicos, ficam ainda mais expostas aos efeitos da pandemia.

Esses achados reforçam a necessidade de uma análise crítica e cuidadosa dos dados em regiões de baixo desenvolvimento humano, onde o impacto real da covid-19 pode estar subestimado, como apontado por Barcellos e Xavier (2022). É importante mencionar que essas características foram encontradas também nos indicadores IDSC, TMI e TOE.

Nosso estudo sugere que o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) pode ser um indicador valioso para identificar vulnerabilidades em situações de surtos e epidemias. Isso ocorre porque o IDSC é composto pela avaliação do progresso em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e um bom desempenho nesses indicadores reflete condições mais favoráveis para os municípios enfrentarem esses eventos. Nossos resultados mostraram que, quanto maior o índice de IDSC, menor é a taxa de incidência de

covid-19 nos municípios estudados, reforçando a importância desse indicador na mitigação dos impactos da pandemia. Especificamente, Silva e colaboradores (2021) demonstraram que cidades com melhores resultados nos ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), componentes centrais do IDSC, apresentaram menos casos e mortes por covid-19. Tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento já reconhecem a importância de alcançar esses objetivos e os têm incorporado como prioridade em suas políticas públicas, o que tem mostrado impactos positivos na mitigação dos efeitos da pandemia (Colombage et al., 2023).

Quanto ao indicador de saúde os resultados indicam que os municípios com maiores taxas de mortalidade infantil também apresentaram uma incidência mais elevada de covid-19. Essa correlação pode ser compreendida à luz das condições sociais adversas que afetam tanto a mortalidade infantil quanto a vulnerabilidade à pandemia. De acordo com Çavdar e colaboradores (2023), a mortalidade infantil, especialmente a pós-neonatal, está intrinsecamente ligada a fatores como pobreza, falta de acesso a cuidados de saúde e condições de vida precárias, que também são determinantes para a maior disseminação de doenças infecciosas, como a covid-19.

Esse cenário reforça a importância de políticas públicas focadas em melhorar as condições de saúde e vida em áreas vulneráveis, a fim de reduzir tanto a mortalidade infantil quanto a suscetibilidade a pandemias. A relação entre mortalidade infantil e incidência de covid-19 evidencia que os impactos da pandemia foram amplificados em contextos de vulnerabilidade social, tornando clara a necessidade de intervenções estruturais para mitigar essas desigualdades.

A pandemia de covid-19 trouxe uma grande perturbação econômica global, afetando significativamente o comprometimento e a capacidade dos países em alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) até 2030 (Shulla et al., 2021). Os impactos da pandemia sobre os ODS foram tanto explícitos quanto implícitos (Afzal, 2020). No entanto, a longo prazo, a expansão significativa dos sistemas de saúde e os investimentos na melhoria da qualidade dos serviços de saúde, impulsionados pela crise sanitária, podem contribuir positivamente para que os países alcancem o ODS 3, que se refere à Saúde e Bem-Estar (Colombage et al., 2023).

O presente estudo também revelou diferenças claras entre as regiões norte e sul do Tocantins na relação entre as taxas de incidência e mortalidade por COVID-19 e os indicadores socioeconômicos e de saúde. No extremo norte, observamos uma relação mais negativa entre alguns indicadores, como o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC), e as taxas de incidência, enquanto no extremo sul a relação foi frequentemente positiva.

Oliveira (2019), expõe que o Tocantins apresenta desigualdades marcantes nas interações produtivas e no desenvolvimento econômico, com a região sul destacando-se por sua maior integração produtiva, especialmente no setor agropecuário, enquanto a região norte permanece menos conectada às dinâmicas econômicas estaduais.

Essa diferença econômica pode refletir diretamente nos indicadores de saúde, uma vez que os municípios do sul do estado, mais desenvolvidos e economicamente ativos, tendem a apresentar melhor infraestrutura de saúde e maior capacidade de resposta às crises sanitária e municípios da região norte têm menor integração produtiva e as limitações, essas diferenças podem gerar impactos diferentes nas taxas incidência de COVID-19 e de outras doenças.

Esses resultados são coerentes com as observações de Santos e colaboradores (2021a), que destacam a desigual espacialidade na oferta de serviços de saúde no Brasil, particularmente nas regiões mais vulneráveis, como o interior e áreas mais periféricas dos estados. No caso do Tocantins, há uma concentração de infraestrutura hospitalar e de serviços de saúde nas regiões centrais e mais urbanizadas, como Palmas e Araguaína, enquanto o Sul e o extremo norte enfrentam uma escassez de recursos. Essa desigualdade na oferta de serviços de saúde influencia diretamente a capacidade de resposta dos municípios ao avanço da pandemia, contribuindo para as variações observadas nas taxas de incidência e mortalidade.

Dessa forma, a discrepância geoespacial nas taxas de covid-19 observada em nosso estudo pode estar relacionada tanto às diferenças no desenvolvimento socioeconômico quanto à desigualdade no acesso a serviços de saúde, especialmente hospitalares, como indicado por Santos e colaboradores (2021b). Políticas públicas que visem reestruturar e ampliar a oferta de serviços de saúde de maneira mais equitativa entre as regiões podem ser fundamentais para mitigar futuras crises de saúde pública.

Por fim a importância do acompanhamento de indicadores urbanos para o enfrentamento da covid-19 foi evidenciada por Müller e Silva (2021), que destacam que cidades com melhor monitoramento desses índices tendem a apresentar melhores resultados na mitigação dos impactos da pandemia. O acompanhamento contínuo dos indicadores urbanos de saúde é essencial para a formulação de políticas públicas eficazes no enfrentamento da pandemia. Como destacado por Campestrini, Silva e Ribeiro (2021), esses indicadores fornecem informações cruciais que podem ajudar a mitigar os impactos da covid-19, aprimorando as estratégias de resposta das autoridades locais.

7.1 Limitações

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Uma das principais limitações está relacionada ao uso dos indicadores socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Esses indicadores são baseados em dados de anos anteriores à pandemia, como o IDHM, calculado pela última vez em 2010, o que pode não refletir a situação atual dos municípios. Da mesma forma, as estimativas populacionais utilizadas para calcular as taxas de incidência e mortalidade podem não corresponder à realidade atual, afetando a precisão das análises.

Uma limitação deste estudo é que não avaliamos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) específicos. A análise agregada dos indicadores socioeconômicos, como o IDSC, pode não evidenciar claramente o impacto isolado de cada objetivo, como o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) ou o ODS 6 (Água Potável e Saneamento).

Outra limitação importante é o fato deste ser um estudo ecológico. Esse tipo de estudo, que utiliza dados agregados, não permite inferir causalidade entre os fatores estudados e os desfechos observados. Além disso, há o risco da chamada "falácia ecológica", onde as associações observadas a nível populacional não necessariamente refletem as associações no nível individual. A ausência de desagregação dos indicadores também impede uma análise mais detalhada e individualizada dos fatores que influenciam a propagação e o impacto da covid-19.

No caso de municípios pequenos, os dados de óbitos muitas vezes estavam zerados, o que limita a capacidade de capturar a real mortalidade nesses locais, especialmente quando a infraestrutura de saúde é limitada. Além disso, uma importante limitação foi a impossibilidade de avaliar a qualidade dos dados de covid-19, o que pode ter impactado os resultados, especialmente no que diz respeito à subnotificação ou inconsistências nos registros dos casos e óbitos, particularmente em regiões com menor capacidade de testagem e vigilância epidemiológica.

Uma das dificuldades metodológicas enfrentadas foi a inflação de zeros nos dados de mortalidade. Para contornar essa situação, utilizamos métodos estatísticos específicos, como os modelos zero-inflated, mas, mesmo com essas abordagens, não foi possível obter um modelo significativo para essas relações. Esse resultado reflete a complexidade dos dados e a dificuldade em capturar padrões consistentes de mortalidade em municípios com poucos ou nenhum óbito reportado.

Adicionalmente, houve o problema da multicolinearidade entre as variáveis, o que exigiu a criação de modelos separados para cada um dos indicadores socioeconômicos e de saúde, dificultando a avaliação conjunta de múltiplos fatores. Esse aspecto limita a visão mais integrada dos fatores que influenciam as taxas de incidência e mortalidade por covid-19.

Por fim, a metodologia baseada em Modelos Aditivos Generalizados (GAM), apesar de robusta para capturar relações não lineares e efeitos espaciais, ainda depende da qualidade dos dados e da especificidade dos modelos. Portanto, é necessário cautela na interpretação dos resultados, considerando que fatores contextuais importantes podem ter sido omitidos. Essas limitações, somadas à complexidade dos dados e à variabilidade na qualidade dos mesmos, indicam que os resultados devem ser vistos como parte de uma análise mais ampla, reconhecendo a necessidade de futuras investigações para aprimorar a compreensão dos efeitos da covid-19 nos municípios tocantinenses.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a relação entre as taxas de incidência e mortalidade por covid-19 e indicadores socioeconômicos e de saúde nos municípios do Tocantins, utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Os resultados indicam que municípios com melhores desempenhos nos indicadores, como IDHM e IDSC, apresentaram menores taxas de incidência, reforçando a importância do desenvolvimento humano e sustentável na mitigação de crises sanitárias.

Os achados também destacam o papel do IDSC como um indicador de vulnerabilidade, com municípios mais alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentando menor incidência e mortalidade. Essa relação confirma que o progresso em áreas como saúde, educação e infraestrutura pode reduzir os impactos de pandemias.

A análise geoespacial revelou diferenças regionais significativas, com a região norte mais vulnerável devido possível menor infraestrutura de saúde e problemas socioeconômicos e maior circulação populacional.

Em síntese, o estudo demonstra que o fortalecimento das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento humano e à redução das desigualdades é crucial para mitigar os efeitos de futuras pandemias, reforçando a importância do cumprimento dos ODS e do acompanhamento contínuo de indicadores sociais e de saúde.

8.1 Recomendações

- Para o Governo Federal

É essencial que o governo federal continue fortalecendo o sistema de saúde público, especialmente nas áreas de vigilância epidemiológica e de testagem, garantindo que todos os municípios, independentemente de seu tamanho ou desenvolvimento, tenham acesso a uma infraestrutura adequada para lidar com pandemias. Além disso, o governo federal deve considerar a atualização frequente de indicadores sociais e populacionais, como o IDHM e as estimativas populacionais, para melhor planejar e implementar políticas públicas em tempo real. Programas de financiamento e apoio técnico devem ser ampliados para regiões mais vulneráveis, a fim de diminuir as desigualdades e aumentar a resiliência diante de futuras crises sanitárias.

- Para o Governo Estadual:

O estado do Tocantins deve priorizar o fortalecimento dos serviços de saúde, especialmente nas regiões norte e central, que apresentaram maiores vulnerabilidades durante a pandemia. É recomendável que o governo estadual implemente um plano de ação contínuo para acompanhar os indicadores socioeconômicos e de saúde de seus municípios, promovendo melhorias nas áreas de saneamento, educação e infraestrutura hospitalar. Além disso, o estado deve realizar uma pesquisa integrada com órgãos parceiros, como universidades, instituições de pesquisa e agências de saúde, com o objetivo de identificar as vulnerabilidades atuais da população. Essa iniciativa pode fornecer dados atualizados e específicos para a formulação de políticas públicas que melhorem a resiliência do estado frente a futuras crises de saúde.

- Para os Governos Municipais:

Os municípios devem focar em ampliar a cobertura e a qualidade dos serviços de saúde básica, além de melhorar a coleta e a qualidade dos dados locais para uma resposta mais eficaz em situações de crise. Recomenda-se que as administrações municipais invistam em parcerias com universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam minimizar as desigualdades internas, principalmente em áreas de alta vulnerabilidade social. O incentivo à participação comunitária em ações de saúde e prevenção também é crucial para engajar a população na construção de um ambiente mais saudável e resiliente.

- Para os Pesquisadores:

Há uma necessidade urgente de mais pesquisas locais e regionais sobre a relação entre indicadores socioeconômicos e saúde pública, principalmente em áreas com menor desenvolvimento humano. A produção científica deve incluir análises que consigam captar as nuances e particularidades de contextos locais, incluindo modelos ajustados para diferentes realidades. Além disso, é necessário desenvolver novos métodos para lidar com a inflação de zeros e outras limitações encontradas em estudos ecológicos, ampliando a capacidade de interpretação dos dados em cenários de baixa notificação ou subnotificação. Estudos longitudinais que acompanhem as mudanças nas condições sociais e de saúde dos municípios ao longo do tempo também são recomendados para avaliar o impacto de políticas públicas e intervenções na saúde da população.

REFERÊNCIAS

- ADAB, P. et al. Comorbidities and COVID-19: better understanding is essential for health system planning. **BMJ**, v. 377, p. o1431, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.o1431>. Acesso em: 25 set. 2024.
- AFZAL, M. B. Effects of Covid-19 On Sustainable Development Goals and How to Salvage Our Global SDG Attempts. Bangladesh, 2020. **Bangladesh Institute Of Peace and Security Studies**. Disponível em: <https://bipss.org.bd/pdf/SGD%20and%20Covid%2019.pdf>. Acessado em: 26 set. 2024.
- AGUIAR, I. W. O. et al. Desigualdades sociodemográficas na incidência de COVID-19 em coorte da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, Brasil, 2020. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 27, p. e240012, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720240012.2>.
- ALMEIDA, H. G. et al. Relação entre covid-19, saneamento e indicadores do perfil municipal do estado do Ceará. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, [S. l.], v. 13, p. 31–46, 2024. DOI: 10.24302/sma.v13.5078. Disponível em: <https://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/5078>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Linha do Tempo - Coronavírus. Brasília: Anvisa, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/paf/coronavirus/arquivos/linha-do-tempo/7145json-file-1>. Acesso em: 10 mai. 2024.
- ATLAS BRASIL. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), 2024. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- AUERBACH, P; OSELAME, G. B; Dutra, D.de A. Revisão Histórica da Gripe no mundo e a nova H7N9. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, v. 2, n. 3, 2013.
- AYRES, J. S. A metabolic handbook for the COVID-19 pandemic. **Nature Metabolism**, v. 2. Disponível em <https://www.nature.com/articles/s42255-020-0237-2.pdf> Acesso em 10 mai. 2024.
- BAHIA, L.O. Guia referencial para construção e análise de indicadores. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/defeso/gr-construindo-e-analisando-indicadores-final.pdf/@download/file>. Acesso em: 07 jun. 2024.
- BALKHAIR, A. A. COVID-19 pandemic: a new chapter in the history of infectious diseases. **Oman Medical Journal**, v. 35, n. 2, p. e123, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5001/omj.2020.41>.
- BARCELLOS, C.; XAVIER, D. R. As diferentes fases, os seus impactos e os desafios da pandemia de covid-19 no Brasil. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde**, v. 16, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29397/reciis.v16i2.3349>. Acesso em: 19 set. 2024.

BAUMGRATZ, D.; TERRE, B. R. B. F.; ALVES, L. R. Análise da correlação espacial da COVID-19 nos municípios brasileiros de fronteira. **Revista Tecnologia e Sociedade**. Curitiba, v. 19, n. 56, p. 245, abr./jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rts.v19n56>. Acesso em: 26 set. 2024.

BESSA, K.; DA LUZ, R. A. A COVID-19 e a desigual espacialidade na oferta dos serviços de saúde no segmento de rede urbana regional no estado do Tocantins, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, p. 144–163, 2020. DOI: 10.14393/RCG0058503. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/58503>. Acesso em: 18 set. 2024.

BIVAND, R. S.; PEBESMA, E.; GÓMEZ-RUBIO, V. **Applied Spatial Data Analysis with R**. 2. ed. New York: Springer, 2013.

BRASIL, Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico Especial 162. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/covid-19/2024/boletim-epidemiologico-no-162-coe.pdf/@download/file>. Acesso em: 14 jul. 2024.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 03 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde. Departamento de Atenção Hospitalar, Domiciliar e de Urgência. Protocolo de manejo clínico da Covid-19 na Atenção Especializada [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Hospitalar, Domiciliar e de Urgência. – 1. ed. rev. – Brasília: Ministério da Saúde, 2020a.

BRASIL. Ministério da Saúde. COE - Coronavirus. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2020/01/coronavirus-saiba-como-o-governo-federal-esta-agindo/ativacao-do-comite-de-operacoes-de-emergencia-coe-brasilia-22012020-foto-luis-oliveira-ms.jpg/view>. Acesso em: 11 de mai. 2024b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Brasil orienta evitar viagens à China. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2020/janeiro/brasil-orienta-evitar-viagens-a-china>. Acesso em: 11 de mai. de 2024c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 188, de 3 de fevereiro de 2020. Declara Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV). Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2020/prt0188_04_02_2020.html#:~:text=Declara%20Emerg%C3%Aancia%20em%20Sa%C3%BAde%20P%C3%ABlica,Coronav%C3%ADrus%20\(2019%2DnCoV\)](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2020/prt0188_04_02_2020.html#:~:text=Declara%20Emerg%C3%Aancia%20em%20Sa%C3%BAde%20P%C3%ABlica,Coronav%C3%ADrus%20(2019%2DnCoV)). Acesso em 11 de mai. 2024d.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus responsável pelo surto de 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/113979.htm Acesso em: 11 de mai. 2024e.

BRASIL. Ministério da Saúde. Brasil confirma primeiro caso do novo coronavírus. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2020/02/brasil-confirma-primeiro-caso-do-novo-coronavirus>. Acesso em: 11 de mai. de 2024f.

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria nº 343, de 17 de março de 2020. Dispõe sobre a substituição das aulas presenciais por aulas em meios digitais enquanto durar a situação de pandemia do Novo Coronavírus - COVID-19. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/portaria/prt/portaria%20n%C2%BA%20343-20-mec.htm#:~:text=PORTARIA%20N%C2%BA%20343%2C%20DE%2017,Novo%20Coronavirus%20%2D%20COVID%2D19. Acesso em: 11 de mai. 2024g.

BRASIL. Ministério da Saúde. Ministério da Saúde declara transmissão comunitária nacional. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2020/marco/ministerio-da-saude-declara-transmissao-comunitaria-nacional#:~:text=O%20Minist%C3%A9rio%20da%20Sa%C3%BAde%20declarou,se%20uni r%20contra%20o%20v%C3%ADrus>. Acesso em: 11 de mai. de 2024h.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Departamento de Monitoramento, Avaliação e Disseminação de Dados e Informações Estratégicas em Saúde. **Caderno especial de indicadores básicos sobre covid-19**. Brasília: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caderno_especial_indicadores_basicos_covid.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

BRITO, D. B. et al. Análise da relação entre o índice IDHM e a densidade demográfica com a incidência de Covid-19 no município de São Paulo – SP. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**. Curitiba, v. 11, n. 03, p. 767-794, set./dez. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3895/rbpd.v11n3.13627>. Acessado em: 25 set. 2024.

BRITO, S. B. P. Pandemia da COVID-19: o maior desafio do século XXI. **Vigilância Sanitária em Debate**, vol. 8, núm. 2, 2020.

CAMPESTRINI, J. B.; SILVA, T. L. da; RIBEIRO, L. A. Indicadores urbanos de saúde e sua relação com a pandemia: uma análise da cidade de Guaporé/RS. In: **Encontro Latino Americano e Europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis**, 4., 2021. Anais [...]. [S. l.], 2021. p. 92–96. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2504>. Acesso em: 17 set. 2024.

CASTAGNA, F. et al. Hospital bed occupancy rate is an independent risk factor for covid-19 inpatient mortality: a pandemic epicentre cohort study. **BMJ Open**, v. 12, e058171, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2021-058171>. Acesso em: 04 jun. 2024.

COLOMBAGE, S. R. N. et al. Covid-19 effects on public finance and SDG priorities in developing countries: comparative evidence from Bangladesh and Sri Lanka. **European Journal of Development Research**, v. 35, n. 1, p. 85-111, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/s41287-022-00558-6>. Acesso em: 20 ago. 2024.

CORDEIRO, G. M; DEMÉTRIO, C.G.B. **Modelos lineares generalizados e extensões**. Piracicaba: USP, 2008.

COSTA, J. V. R. et al. Covid-19: Epidemiologia e Transmissão. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 2269–2277, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2023v5n5p2269-2277>. Acesso em: 7 abr. 2024.

ÇAVDAR, S. et al. Evaluation of infant mortality before and during COVID-19 pandemic in a district of Istanbul. *Turkish Journal of Public Health*, v. 21, n. 3, p. 349-360, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20518/tjph.1274068>. Acesso em: 27 set. 2024.

DATASUS, Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. Óbitos por causas evitáveis de 5 a 74 anos - Brasil. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/evitb10uf.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. Óbitos infantis - Tocantins. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/inf10to.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. CNES - Recursos Físicos - Hospitalar - Leitos de internação - Brasil. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?cnes/cnv/leiintbr.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. População Residente - Estimativas para o TCU - Tocantins. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/poptto.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. População Residente - Estimativas para o TCU - Tocantins. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/poptto.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde. Nascidos vivos - Tocantins. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinasc/cnv/nvto.def>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DUARTE, C. M. R. Reflexos das políticas de saúde sobre as tendências da mortalidade infantil no Brasil: revisão da literatura sobre a última década. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, n. 7, p. 1511-1528, jul. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000700002>. Acesso em: 26 jan. 2024.

EILERS, Paul H. C.; et al. Twenty years of P-splines. ***SORT - Statistics and Operations Research Transactions***, v. 39, n. 2, p. 149-186. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/SORT/article/view/302258>. Acesso em: 25 set. 2024.

FBH. Federação Brasileira de Hospitais. Cenário dos hospitais no Brasil 2021-2022. Brasília: FBH, 2022. Disponível em: <http://cnsaude.org.br/wp-content/uploads/2022/07/CNSAUDE-FBH-CENARIOS-2022.pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

FERRAZ, A. R. As grandes pandemias da história. ***Revista de Ciência Elementar***, v. 8, n. 2, p. 025, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.24927/rce2020.025>. Acesso em: 06 mai. 2024.

FIGUEIREDO, A. M. et al. Social determinants of health and COVID-19 infection in Brazil: an analysis of the pandemic. ***Revista Brasileira de Enfermagem***, v. 73, Suppl. 2, e20200673, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2020-0673>. Acesso em: 06 mai. 2024.

- FLORENCIO, L. de A. Engenharia de avaliações com base em modelo GAMLSS. Dissertação, Universidade Federal de Pernambuco. CCEN. Estatística, 2010. Disponível em https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6227/1/arquivo616_1.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024.
- FULLER, G. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades - Brasil: Metodologia, 2020. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/idsc-br/Metodologia.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024. Acesso em: 15 de jan. 2024.
- GABRIEL, S. A. **História das epidemias**. 1. ed. São José do Rio Preto: Unilago, 2021. E-book. ISBN 978-65-88225-02-8. Disponível em: <https://unilago.riopreto.br/ebooks>. Acesso em: 06 mai. 2024.
- GOULARTE, P. S. M. et al. Gripe Suína. **História das Epidemias**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 162, 2021.
- GROLEMUND, G.; WICKHAM, H. Dates and times Made Easy with lubridate. **Journal of Statistical Software**, 2011. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v040i03>. Acesso em: 10 set. 2023.
- GUSZCZA, J. Geo-sp y atial Analysis with. Generalized Additive Models. Mar. 2010. Disponível em: https://www.casact.org/sites/default/files/presentation/rpm_2010_handouts_pm1-guszcza.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.
- HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. Generalized additive models. [S.l.]: Wiley Online Library, 1990.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Downloads. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Informações Básicas Municipais - Perfil dos Municípios Brasileiros. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/pesquisa/45/62585>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de Indicadores Sociais. Uma análise das condições de vida da população brasileira, 2022. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2022/12/sintese-indicadores-sociais-ibge-2022.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2024.
- ICS - Instituto Cidades Sustentáveis. IDSC-BR: Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades do Brasil. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/paginas/idsc-br>. Acesso em: 4 out. 2023.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Atlas da Vulnerabilidade Social. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Planilha do Atlas da Vulnerabilidade Social. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/planilha>. Acesso em: 25 set. 2023.

- JANNUZZI, P. M. Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações. In: Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações. 2009.
- KAMMANN, E. E.; WAND, M. P. Ge additive models. *Applied Statistics*, v. 52, n. 1, p. 1-18, 2023.
- KASSAMBARA, A. ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using ggplot2. CRAN, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=ggcorrplot>. Acesso em: 10 set. 2023.
- KHETRAPAL, S.; BHATIA, R. Impact of COVID-19 pandemic on health system & Sustainable Development Goal 3. **Indian J. Med. Res.**, v. 151, n. 5, p. 395-399, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1920_20. Acesso em: 26 set. 2024.
- KLEINSCHMITT, M. H.; MARTINS, W. The great pandemics that ravaged Brazil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e4611527665, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27665>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27665>. Acesso em: 24 set. 2024.
- KUHN, M. caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-92, 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=caret>. Acesso em: 10 set. 2023.
- LIMA, E. E. C.; LIMA, A. F.; RIBEIRO, E. M. G. Relação entre Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e mortalidade por COVID-19 nas macrorregiões brasileiras. **Revista Brasileira de Geografia e Estatística**, v. 4, n. 2, p. 54-65, 2021.
- LUIZ, M. H. R. Modelos matemáticos em epidemiologia. 2012. 75 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.
- MAGALHÃES, M. N. **Probabilidade e variáveis aleatórias**. Edusp, 2006.
- MALTA, D. C. et al. Lista de causas de mortes evitáveis por intervenções do Sistema Único de Saúde do Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 16, n. 4, p. 233-244, dez. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742007000400002>. Acesso em: 15 de jan. 2024.
- MARCOLINO, M. S. et al. Clinical characteristics and outcomes of patients hospitalized with covid-19 in Brazil: results from the brazilian covid-19 registry. **International Journal Of Infectious Diseases**, [s. l.], v. 107, p. 300-310, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijid.2021.01.019>. Acesso em: 15 de jan. 2024.
- MARQUES, R. C.; Silveira, A. J. T.; Pimenta, D. N. A pandemia de covid-19: Interseções e desafios para a história da saúde e o do tempo presente. **Coleção história do tempo presente**, v. 3, 2020. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/a-pandemia-de-covid-19_intersecoes-e-desafios-para-a-historia-da-saude-e-do-tempo-presente.pdf. Acesso em: 10 mai. 2024.
- MARSON, F. A. L.; ORTEGA, M.M. Covid-19 in Brazil. **Pulmonology**, v. 26, n. 4, p. 241-244, jul. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.04.008>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- MORGENSTERN, H. Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. **Annual review of public health**, v. 16, n. 1, p. 61-81, 1995.

MÜLLER, K.; WICKHAM, H. tibble: Simple Data Frames. R package version 3.1.0, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=tibble>. Acesso em: 10 set. 2023.

MÜLLER, L.; SILVA, T. L. Indicadores de Saúde de Cidades Inteligentes como aliados no enfrentamento da COVID-19: uma análise de Passo Fundo/RS. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v16, n4, 2021. <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i4.176339>.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. (1972). Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series A (General), v. 135, p. 370-384.

NEUWIRTH, E. RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. R package version 1.1-2, 2014. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=RColorBrewer>. Acesso em: 10 set. 2023.

OLIVEIRA, F. M. Aspectos da desigualdade social, pobreza e COVID-19 no Piauí. **Relatório de Estudo e Pesquisa. Teresina: Governo do Estado do Piauí**, Secretaria de Estado do Planejamento – SEPLAN, 2022.

OLIVEIRA, L. G. et al. Análise do índice inicial de casos de Covid-19 relacionado aos indicadores sociais de saúde no estado do Pará, Brasil. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 2, e4060, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e4060.2021> Acesso em: 08 jun. 2024.

OLIVEIRA, N.M. **Desenvolvimento regional e territorial do Tocantins**. EDUFT, 2019.

OMS. Coronavirus disease (COVID-19). Disponível em: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_3. Acesso em: 10 out. 2022.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report – 1. Genebra: OMS, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200121-sitrep-1-2019-ncov.pdf>. Acesso em: 10 de mai. 2024a.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report – 11. Genebra: OMS, 2020. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200131-sitrep-11-ncov.pdf?sfvrsn=de7c0f7_4. Acesso em: 10 de mai. 2024b.

OMS. Organização Mundial da Saúde. WHO Director-General's statement on IHR Emergency Committee on Novel Coronavirus (2019-nCoV). Genebra: OMS, 2020. Disponível em: [https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ih-er-emergency-committee-on-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ih-er-emergency-committee-on-novel-coronavirus-(2019-ncov)). Acesso em: 10 mai. 2024c.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report – 51. Genebra: OMS, 2020. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf?sfvrsn=1ba62e57_10. Acesso em: 10 de mai. 2024d.

OMS. Organização Mundial da Saúde. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing – 5 May 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/speeches/item/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing---5-may-2023> Acesso em: 03 jun. de 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. Relatório do Desenvolvimento Humano 2013: A Ascensão do Sul - Progresso Humano num Mundo Diversificado. Nova York: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2013. Disponível em: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2013portuguese.pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

ONU. Organização das Nações Unidas. Decades of development efforts undermined by pandemic – FAO report. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2021/09/1100682>. Acesso em: 12 out. 2022.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. Histórico da pandemia de COVID-19. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>. Acesso em: 10 out. 2022.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. Indicadores de saúde: Elementos conceituais e práticos. Washington, D.C.: OPAS, 2018. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/49057/9789275720059_por.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 03 jun. 2024.

ORELLANA, J. D. Y. et al. Excesso de mortes durante a pandemia de covid-19: subnotificação e desigualdades regionais no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 2021 [online], v. 37, n. 1, e00259120. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00259120>. ISSN 1678-4464. Acessado em 11 jun. 2024.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo: IME-USP, 2004.

PEBESMA, E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 2018. Disponível em: <https://journal.r-project.org/archive/2018/RJ-2018-009/index.html>. Acesso em: 10 set. 2023.

PEREIRA, M. D. et al. Aspectos epidemiológicos, clínicos e terapêuticos da Doença de Coronavírus 2019 (COVID-19). **Journal of Health and Biological Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-8, jan. 2020.

PIEIDADE, F. H. et al. Sars e Mers. **História das Epidemias**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 162, 2021.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 10 set. 2023.

REZENDE, J. M. **As grandes epidemias da história**. In: À sombra do plátano: crônicas de história da medicina [online]. São Paulo: Editora Unifesp, 2009. p. 73-82. (História da Medicina, v. 2). ISBN 978-85-61673-63-5. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9788561673635.0008>. Acesso em: 06 mai. 2024.

RIBEIRO, M. L.; NASCIMENTO DA PAIXÃO, A. Análise da desigualdade socioeconômica sobre os casos de covid-19 no Tocantins. **Revista Brasileira de Tecnologia Sociais**, v. 8, p. 51–61, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14210/rbts.v8n1.p51-61>. Acesso em: 26 set. 2024.

RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. *gamlss.add: Additive models for GAMLSS*. R Documentation, 2005b. Disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/gamlss.add>. Acesso em: 10 set. 2023.

RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. GAMLSS: A distributional regression approach. **Journal of Statistical Software**, v. 23, n. 7, 2005a.

ROLLSTON, R.; GALEA, S. Covid-19 and the Social Determinants of Health. **Am J Heal Promot**, 2020.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. *RStudio, PBC*, Boston, MA, 2023. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>. Acesso em: 10 set. 2023.

SALTARELLI, R. M. F. et al. Tendência da mortalidade por causas evitáveis na infância: contribuições para a avaliação de desempenho dos serviços públicos de saúde da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, e190020, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190020>. Acesso em: 26 jan. 2024.

SANHUEZA-SANZANA, C. et al. Desigualdades sociais associadas com a letalidade por COVID-19 na cidade de Fortaleza, Ceará, 2020. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 30, n. 3, e2020743, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-49742021000300022>.

SANTOS, B. Estudo Qualitativo de um Modelo de Propagação de Dengue - Dissertação - (mestrado), 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45132/tde-31082016-185838/pt-br.php>. Acesso em: 11 jun. 2024.

SANTOS, F. et al. A covid-19 e a desigual espacialidade na oferta dos serviços de saúde no segmento de rede urbana regional. **Encontro Latino-Americano de Estudos sobre Saúde**, 2021b.

SANTOS, S. B. dos. et al. The epidemiology of Covid-19 and its relationship with the Municipal Human Development Index of the State of Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e27101421578, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21578>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21578>. Acesso em: 17 set. 2024.

SHULLA, K. et al. Efeitos da COVID-19 nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). **Discover Sustainability**, 2021.

SILVA FILHO, P. S. da P. et al. Coronavirus vaccines (covid-19; SARS-COV-2) in Brazil: an overview. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e26310817189, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17189>. Acesso em: 29 mar. 2023.

SILVA, F. R. da. et al. Sustainable Development Goals against Covid-19: the performance of Brazilian cities in SDGs 3 and 6 and their reflection on the pandemic. **Geography, Environment, Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 9-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-188>.

SILVA, V. R. et al. Tendência temporal das taxas de incidência e de mortalidade por covid-19 e sua relação com indicadores socioeconômicos no Piauí: estudo ecológico, 2020-2021. **Epidemiologia e Serviços de Saúde** [online], v. 31, n. 2, e20211150, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2237-96222022000200022>. Acesso em: 11 jun. 2024.

SOUZA, C. M. C. de. A epidemia de gripe espanhola: um desafio à medicina baiana. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 15, p. 945–972, 1 dez. 2008.

SOUZA, W. M. et al. Epidemiological and clinical characteristics of the COVID-19 epidemic in Brazil. **Nature Human Behaviour**, v. 4, n. 8, p. 856-865, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0928-4>. Acesso em: 25 set. 2024.

STASINOPOULOS, M. D. et al. Generalized additive models for location scale and shape (gamlss). **Journal of Statistical Software**, v. 23, n. 7, p. 1-46, 2007.

SZWARCWALD, C. L. et al. Covid-19 mortality in Brazil, 2020-21: consequences of the pandemic inadequate management. **Archives of Public Health**, v. 80, p. 255, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13690-022-01012-z>. Acesso em: 25 set. 2024.

TAVARES, L. F. B.; ADAMSON-MACEDO, E. N. Child mortality remains a serious public health problem. **Journal of Human Growth and Development**, v. 33, n. 1, p. 06-09, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36311/jhgd.v33.14383>. Acesso em: 01 set. 2024.

TELLIER, R. COVID-19: the case for aerosol transmission. **Interface Focus**, v. 12, n. 2, p. 20210072, 11 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2021.0072>. Acesso em: 25 set. 2024.

TESSARO, L. M.V. et al. Gripe Espanhola. **História das Epidemias**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 162, 2021.

THE LANCET. Redefining vulnerability in the era of COVID-19. **The Lancet**, v. 294, n. 10230, p. 1089, 2020. Disponível em: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2930757-1>. Acesso em: 26 set. 2024.

TOBIAS, G. C. et al. Perfil epidemiológico de covid-19 no interior de Goiás. Covid-19: O Trabalho dos Profissionais da Saúde em Tempos de Pandemia, p. 144-154, 2021. **Editora Científica Digital**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37885/201102355>. Acesso em: 26 set. 2024.

TOCANTINS. Secretaria de Estado da Saúde. Informações epidemiológicas da covid-19. Disponível em: <http://integra.saude.to.gov.br/covid19/InformacoesEpidemiologicas>. Acesso em: 20 jul. 2024

TOCANTINS. Secretaria de Estado da Saúde. Resolução CIB nº 161, de 29 de agosto de 2012. Dispõe sobre a conformação das novas Regiões de Saúde do estado do Tocantins e as ações e serviços mínimos a serem ofertados nesses territórios. Palmas, TO, 2012. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/244723/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados**: da teoria à prática. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2000.

WALKER, A. openxlsx: Read, Write and Edit XLSX Files. R package version 4.2.5, 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=openxlsx>. Acesso em: 10 set. 2023.

WALLISCH, C. et al. Review of guidance papers on regression modeling in statistical series of medical journals. **PLOS ONE**, v. 17, n. 1, p. e0262918, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262918>. Acesso em: 5 jun. 2024.

WERNECK, G.L. A pandemia de covid-19: desafios na avaliação do impacto de problemas complexos e multidimensionais na saúde de populações. **Caderno de Saúde Pública**, v. 38, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT045322>. Acesso em: 7 abr. 2024.

WHO - World Health Organization. Covid-19 weekly epidemiological update, edition 168, 17 June 2024. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-epidemiological-update-edition-168>. Acesso em: 20 ago. 2024

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer-Verlag, 2016.

WICKHAM, H. tidyverse: Easily install and load the 'Tidyverse'. R package version 1.2.1, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=tidyverse>. Acesso em: 10 set. 2023.

WICKHAM, H.; BRYAN, J. readxl: Read Excel Files. R package version 1.3.1, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=readxl>. Acesso em: 10 set. 2023.

WICKHAM, H.; et al. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.1, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=dplyr>. Acesso em: 10 set. 2023.

WOOD, S. N. **Generalized Additive Models: An Introduction with R**. 2. ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2017.

WOOD, S. N. mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation. *Journal of Statistical Software*, 2011. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v033i01>. Acesso em: 10 set. 2023.

ZANETTA, D.M.T. Indicadores de Saúde. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/plc/plc0503/impressos/plc0503_08.pdf. Acesso em 28 de maio de 2024.

ZHOU, L.; PUTHENKALAM, J. J. Correlation of the sustainable development goals index score and covid-19 death rate: a comparison among 40 Asian countries. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 29, n. 8, p. 840–849, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2107107>. Acesso em: 13 ago. 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Quadros e Tabelas

Apêndice A1 –

ODS	Indicador
1 - Erradicação da pobreza	Famílias inscritas no Cadastro Único para programas sociais (%)
	Percentual de pessoas inscritas no Cadastro Único que recebem Bolsa Família (%)
	Percentual de pessoas abaixo da linha da pobreza no Cadastro Único pós Bolsa Família (%)
	Pessoas com renda de até 1/4 do salário mínimo (%)
2 – Fome zero e agricultura sustentável	Obesidade infantil (%)
	Baixo peso ao nascer (%)
	Desnutrição infantil (%)
	Produtores de agricultura familiar com apoio do PRONAF (%)
	Estabelecimentos que praticam agricultura orgânica (%)
3 – Saúde e bem-estar	Cobertura vacinal (%)
	Mortalidade por suicídio (100 mil habitantes)
	Mortalidade infantil (crianças menores de 1 ano) (mil nascidas vivas)
	Mortalidade materna (mil nascidos vivos)
	Mortalidade na infância (mil nascidas vivas)
	Mortalidade neonatal (crianças de 0 a 27 dias) (mil nascidas vivas)
	Mortalidade por Aids (100 mil habitantes)
	Incidência de dengue (100 mil habitantes)
	Mortalidade prematura por doenças crônicas não-transmissíveis (100 mil habitantes)
	Orçamento municipal para a saúde (Reais per capita)
	População atendida por equipes de saúde da família (%)
	Deteção de hepatite ABC (100 mil habitantes)
	Pré-natal insuficiente (%)
	Unidades Básicas de Saúde (mil habitantes)
	Esperança de vida ao nascer (Anos)
Gravidez na adolescência (%)	
Incidência de tuberculose (100 mil habitantes)	
4 - Educação de qualidade	Acesso à internet nas escolas do ensino fundamental e médio, na rede pública (%)
	Escolas com dependências adequadas a pessoas com deficiência (%)
	Escolas com recursos para Atendimento Educacional Especializado (%)
	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) - anos finais (IN)

	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) - anos iniciais (IN)
	Jovens com ensino médio concluído até os 19 anos de idade (%)
	Professores com formação em nível superior - Educação Infantil - rede pública (%)
	Professores com formação em nível superior - Ensino Fundamental - rede pública (%)
	Prova Brasil - Língua portuguesa - Anos Finais do Ensino Fundamental - rede municipal (IN)
	Prova Brasil - Língua portuguesa - Anos Iniciais do Ensino Fundamental - rede municipal (IN)
	Prova Brasil - Matemática - Anos Finais do Ensino Fundamental - rede municipal (IN)
	Prova Brasil - Matemática - Anos Iniciais do Ensino Fundamental - rede municipal (IN)
	Razão entre o número de alunos e professores na pré-escola (Taxa)
	Razão entre o número de alunos e professores no ensino fundamental (Taxa)
	Taxa de distorção idade-série no Ensino Fundamental - rede pública (Taxa)
	Analfabetismo na população com 15 anos ou mais (%)
	Centros culturais, casas e espaços de cultura (100 mil habitantes)
	Crianças e jovens de 4 a 17 anos na escola (%)
5 – Igualdade de gênero	Mulheres jovens de 15 a 24 anos de idade que não estudam nem trabalham (%)
	Presença de vereadoras na Câmara Municipal (%)
	Desigualdade de salário por sexo (Razão)
	Diferença percentual entre jovens mulheres e homens que não estudam e nem trabalham (Pontos percentuais)
	Taxa de feminicídio (100 mil mulheres)
6 – Água potável e saneamento	Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (100 mil habitantes)
	Perda de água tratada na distribuição (%)
	População total atendida com abastecimento de água (%)
	População atendida com esgotamento sanitário (%)
	Índice de tratamento de esgoto (%)
7 – Energia limpa e acessível	Domicílios com acesso à energia elétrica (%)
	Vulnerabilidade Energética (Índice)
8 – Trabalho decente e crescimento econômico	População ocupada entre 10 e 17 anos (%)
	PIB per capita (R\$ per capita)
	Desemprego (Taxa)
	Desemprego de jovens (Taxa)
	Jovens de 15 a 24 anos de idade que não estudam nem trabalham (%)
	Ocupação das pessoas com 16 anos de idade ou mais (Taxa)

9 – Indústria, inovação e infraestrutura	Investimento público em infraestrutura urbana por habitante (R\$ per capita)
	Participação dos empregos formais em atividades intensivas em conhecimento e tecnologia (%)
10 – Redução das desigualdades	Renda municipal apropriada pelos 20% mais pobres (%)
	Coeficiente de Gini (IN)
	Razão mortalidade infantil (Razão)
	Razão Gravidez na Adolescência (Razão)
	Taxa de distorção idade-série nos anos iniciais do Ensino Fundamental (Razão)
	Risco relativo de homicídios (Razão)
	Violência contra a população LGBTQI+ (100 mil habitantes)
	Acesso a equipamentos da atenção básica à saúde (%)
	Razão do rendimento médio real (Razão (R\$))
	Taxa de distorção idade-série nos anos finais do Ensino Fundamental (Razão)
11 – Cidades e comunidades sustentáveis	Percentual da população de baixa renda com tempo de deslocamento ao trabalho superior a uma hora (%)
	Mortes no trânsito (100 mil habitantes)
	População residente em aglomerados subnormais (%)
	Domicílios em favelas (%)
	Equipamentos esportivos (100 mil habitantes)
	Percentual da população negra em assentamentos subnormais (%)
12 – Consumo e produção responsáveis	Resíduos sólidos domiciliares coletados per capita (kg/ dia/ hab)
	Recuperação de resíduos sólidos urbanos coletados seletivamente (%)
	População atendida com coleta seletiva (%)
13 – Ação contra a mudança global do clima	Emissões de CO ₂ e per capita (ton de CO ₂ e per capita)
	Concentração de focos de calor (por mil)
	Proporção de estratégias para gestão de riscos e prevenção a desastres naturais (%)
	Percentual do município desflorestado (%)
14 – Vida na água	Esgoto tratado antes de chegar ao mar, rios e córregos (%)
15 – Vida terrestre	Taxa de áreas florestadas e naturais (HA/HAB)
	Unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável (%)
	Grau de maturidade dos instrumentos de financiamento da proteção ambiental (%)
16 – Paz, justiça e instituições eficazes	Homicídio juvenil masculino (100 mil habitantes)
	Mortes por agressão (100 mil habitantes)
	Mortes por armas de fogo (100 mil habitantes)
	Taxa de homicídio (100 mil habitantes)
	Grau de estruturação da política de controle interno e combate à corrupção (%)

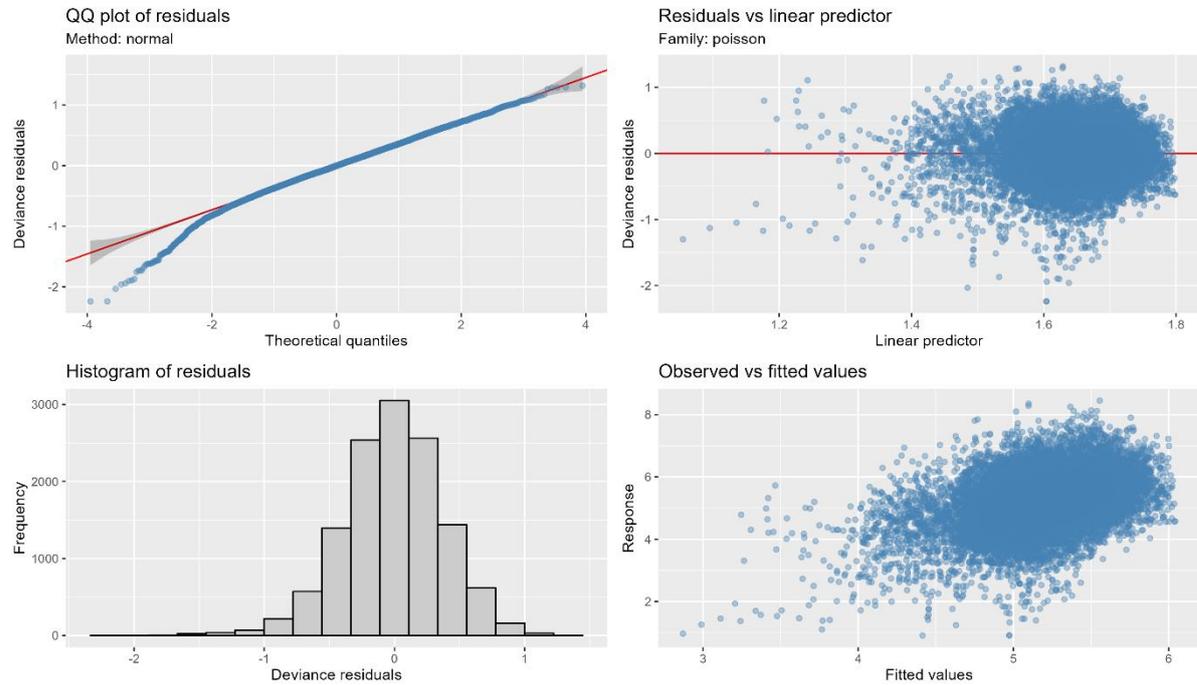
	Grau de estruturação das políticas de participação e promoção de direitos humanos (%)
	Grau de estruturação das políticas de transparência (%)
17 – Parcerias e meios de implementação	Investimento público (R\$ per capita)
	Total de receitas municipais arrecadadas (%)

APÊNDICE B – Principais pacotes R utilizados.

Pacote	Função	Autores
caret	Pré-processamento e criação de modelos de machine learning e validação cruzada.	Kuhn, 2022
dplyr	Manipulação e transformação de dados, filtragem, agrupamento e agregação.	Wickham et al., 2023
gamlss	Implementa Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (GAMLSS).	Rigby & Stasinopoulos, 2005a
gamlss.add	Extensão do pacote GAMLSS para incluir suavização aditiva e modelagem espacial.	Rigby & Stasinopoulos, 2005b
ggcorrplot	Visualização de matrizes de correlação com gráficos de calor.	Kassambara, 2019
ggplot2	Criação de gráficos avançados e personalizáveis, utilizado para visualização de dados.	Wickham, 2016
lubridate	Manipulação de datas e tempos para organização e análise temporal.	Grolemund & Wickham, 2011
mgecv	Permite ajuste de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) e suavização de termos com splines.	Wood, 2017
openxlsx	Exportação de dados para arquivos Excel (.xlsx), utilizado para salvar resultados.	Walker, 2022
RColorBrewer	Paletas de cores para visualização de dados em gráficos e mapas.	Neuwirth, 2014
readxl	Leitura de arquivos do Excel (.xlsx) para importação de dados.	Wickham & Bryan, 2019
sf	Manipulação de dados geoespaciais, criação de mapas e análises espaciais.	Pebesma, 2018
tibble	Criação e manipulação de data frames, com funcionalidades aprimoradas.	Müller & Wickham, 2023
tidyverse	Conjunto de pacotes para ciência de dados no R, facilitando a manipulação, visualização e análise.	Wickham, 2017

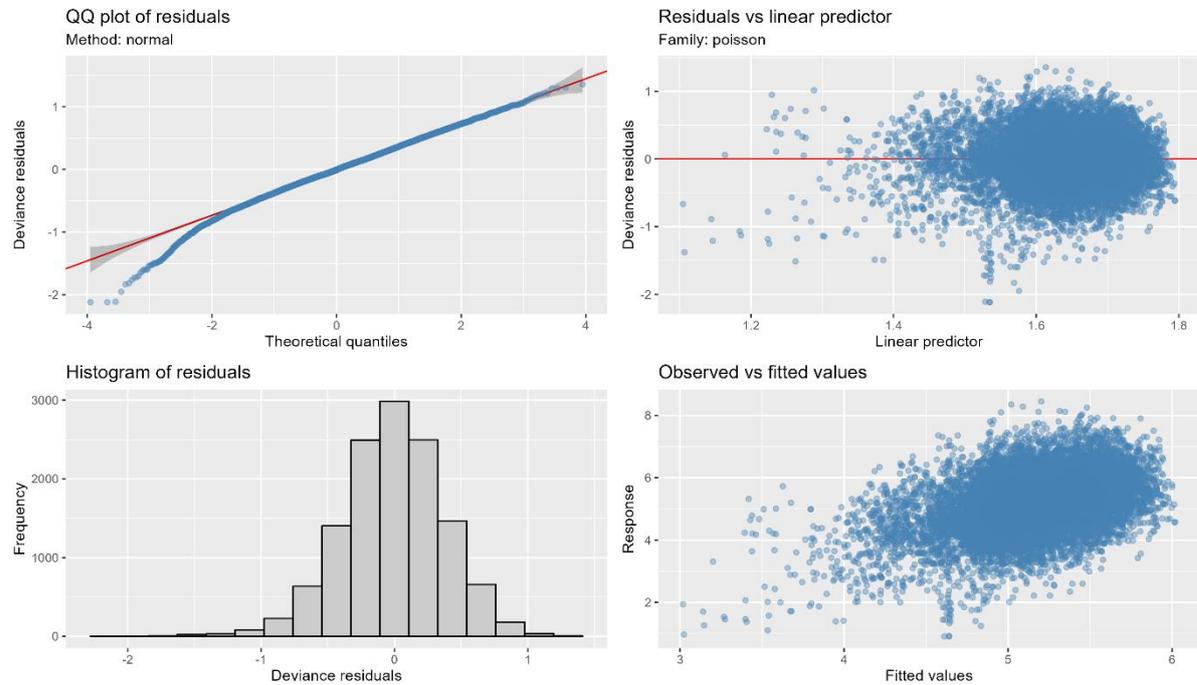
APÊNDICE C – Resíduos dos modelos de incidência

Apêndice C1 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 1



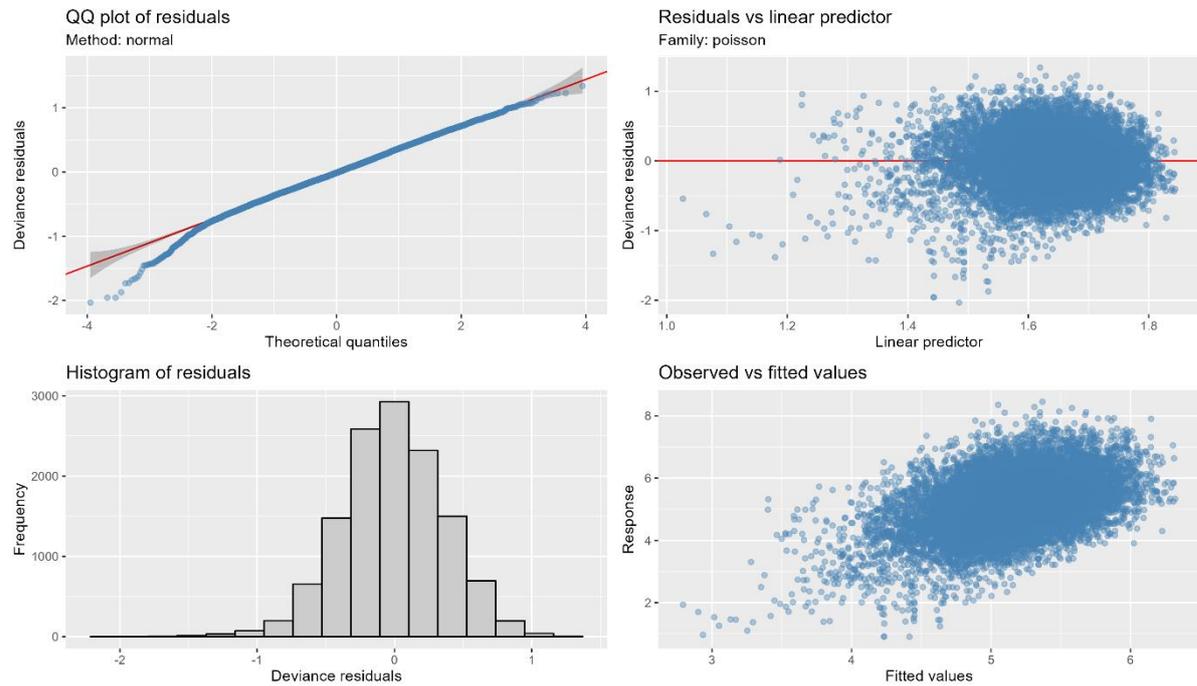
Fonte: próprio Autor

Apêndice C2 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 2



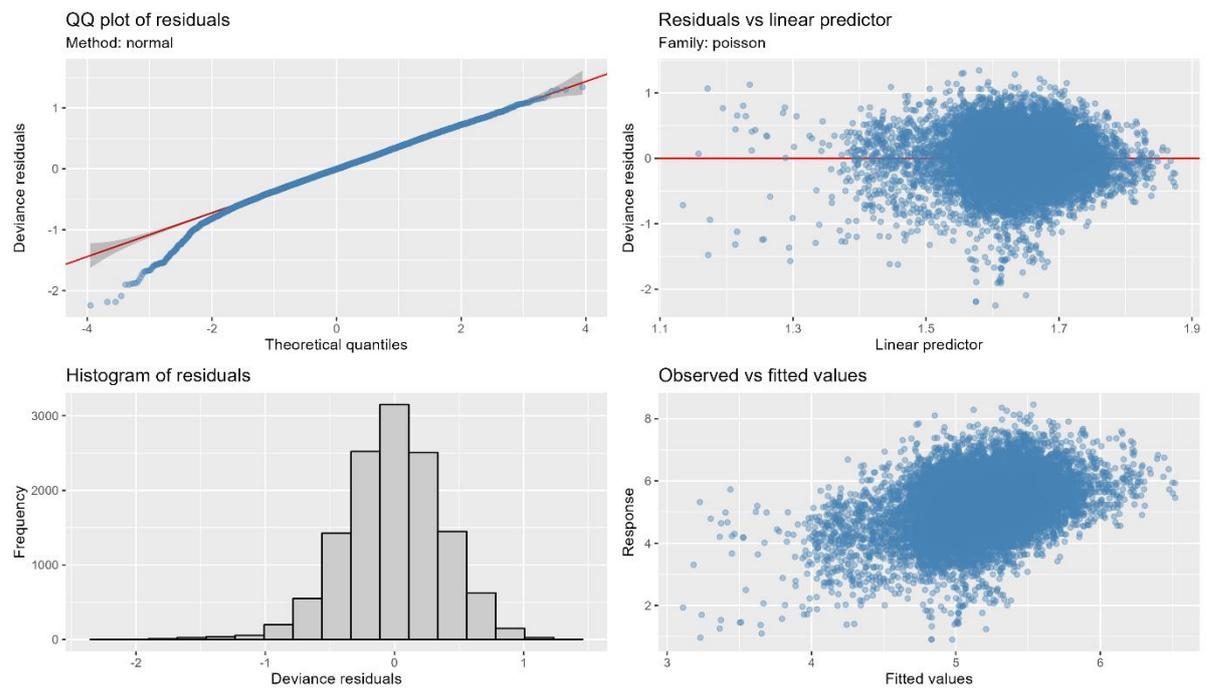
Fonte: próprio Autor

Apêndice C3 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 3



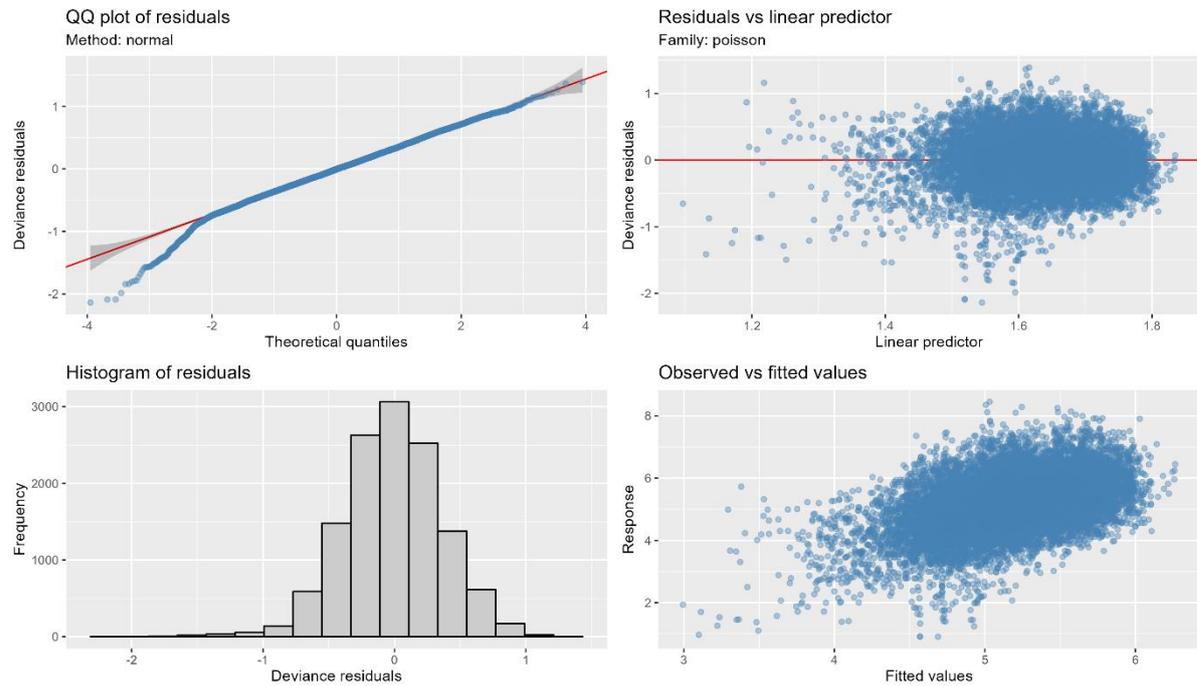
Fonte: próprio Autor

Apêndice C4 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 4



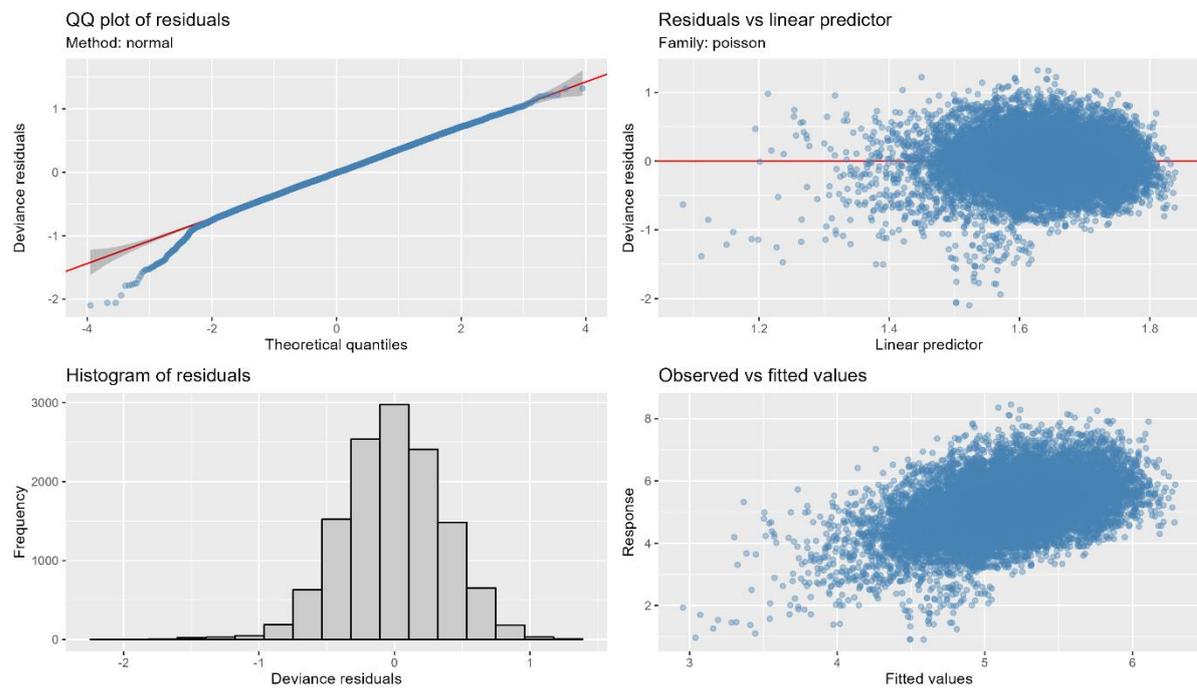
Fonte: próprio Autor

Apêndice C5 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 5



Fonte: próprio Autor

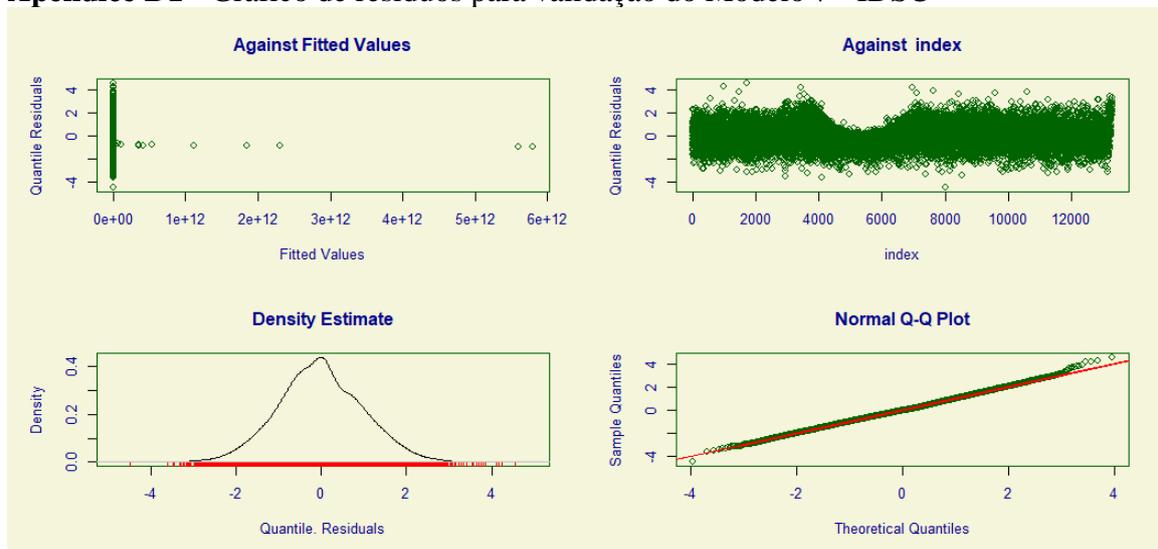
Apêndice C6 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 6



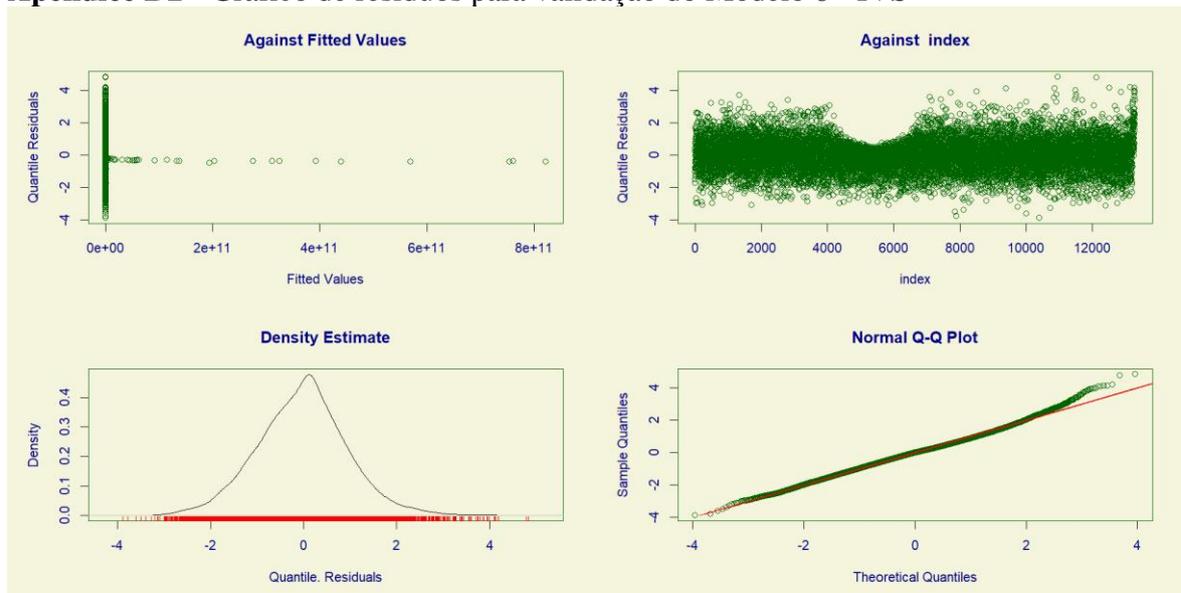
Fonte: próprio Autor

APÊNDICE D – Modelos de mortalidade e seus resíduos

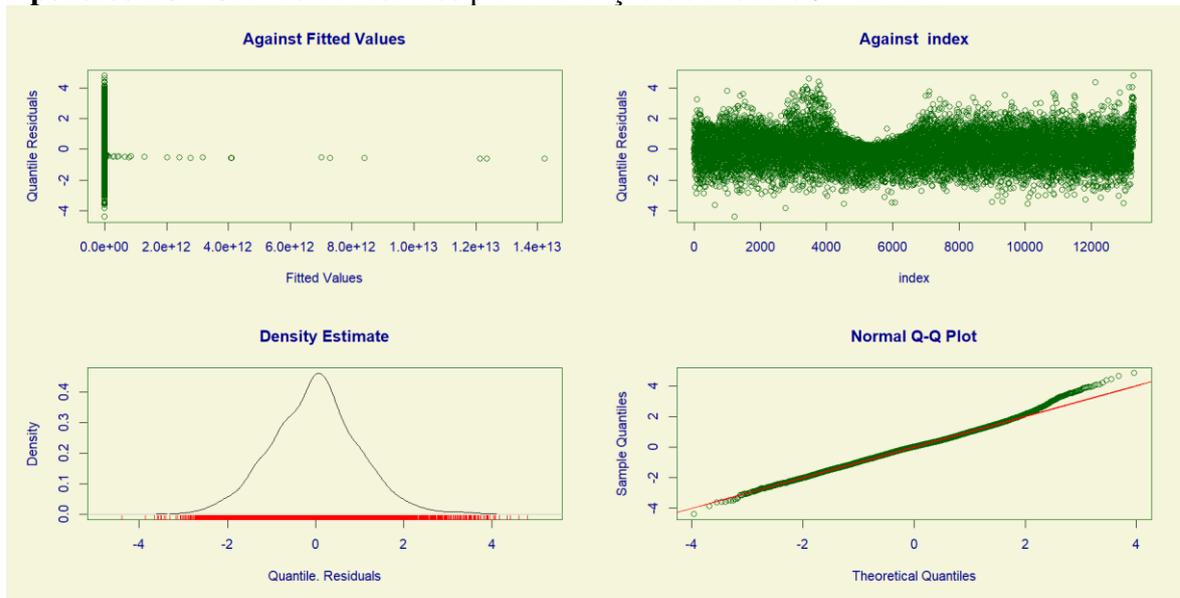
Apêndice D1 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 7 - IDSC



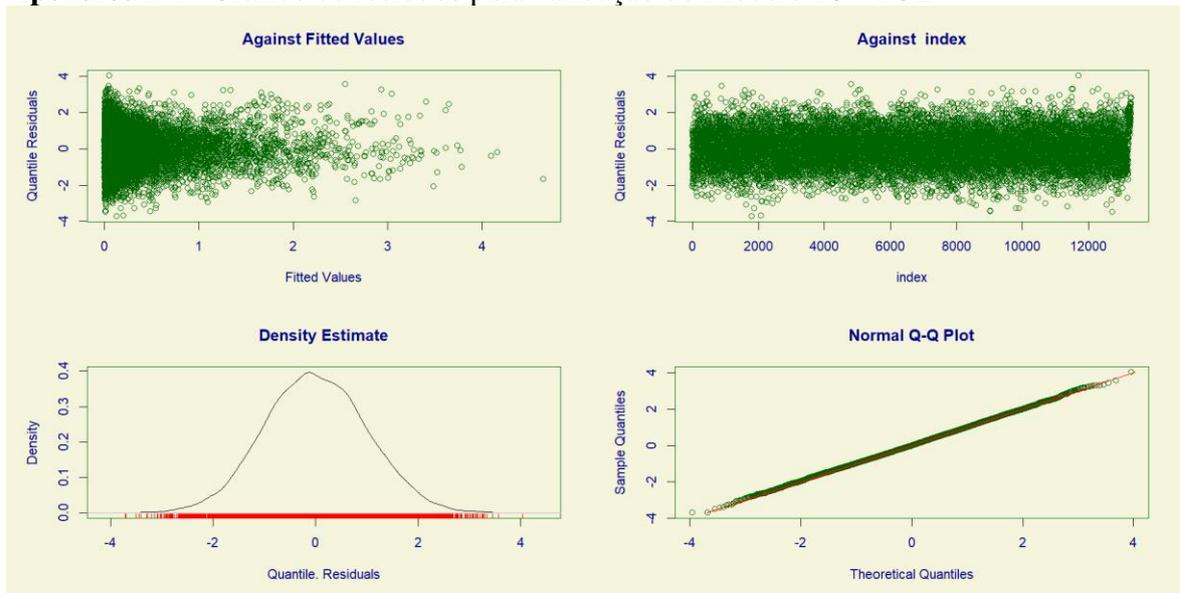
Apêndice D2 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 8 - IVS



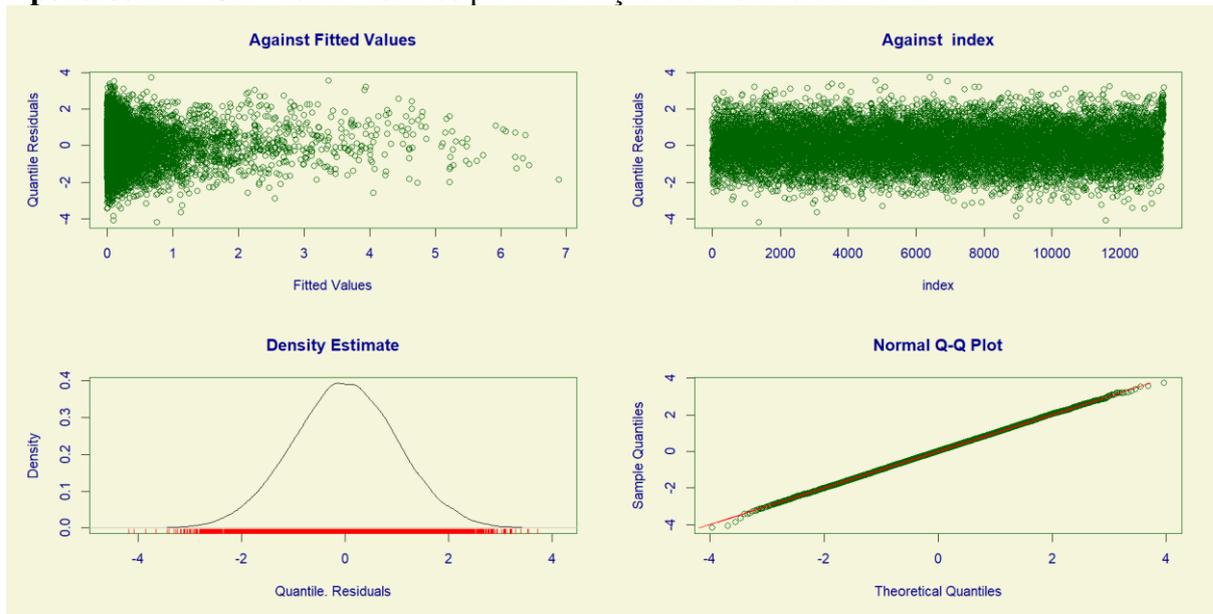
Apêndice D3 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 9 - IDHM



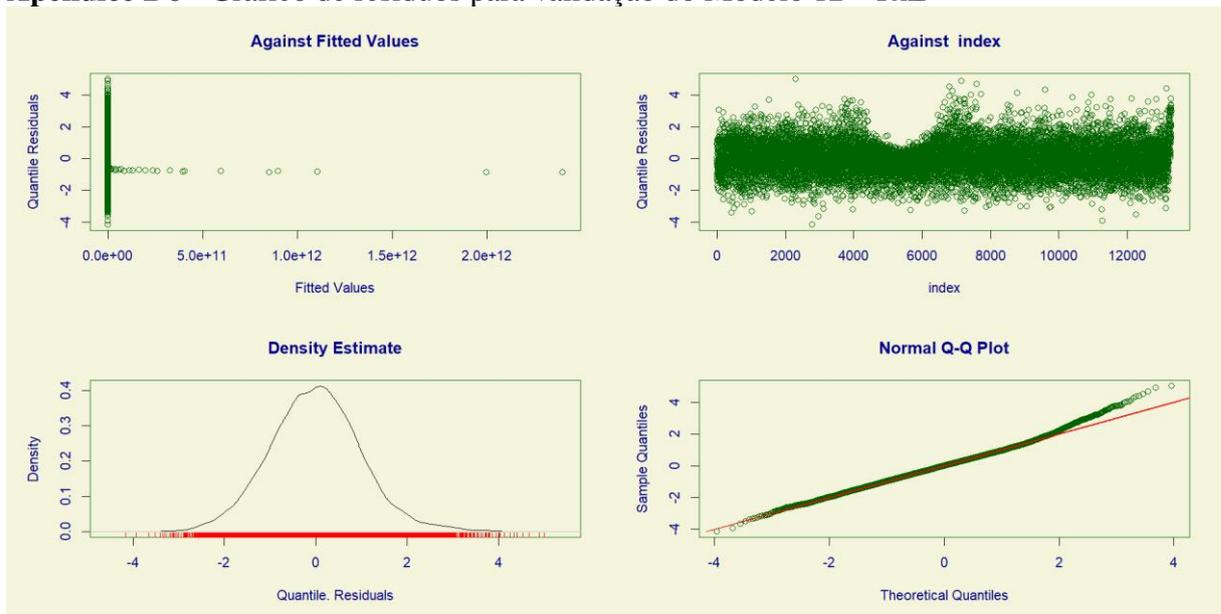
Apêndice D4 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 10 - TOE



Apêndice D5 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 11 - TMI



Apêndice D6 - Gráfico de resíduos para validação do Modelo 12 - TxL



APÊNDICE C – Scripts R

```

###Códigos Utilizados na Modelagem da Incidência
```r
Pacotes necessários
library(tidyverse)
library(mgcv) # Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) com suavizadores
espaciais
library(gratia) # Visualização dos termos suavizados dos modelos
Carregar bases de dados
base_gam <- readRDS("bd/base_gam.rds")
base_gam2 <- readRDS("bd/base_gam2.rds")
MODELO 1
mod_1 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(IDSC) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_1)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_1)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_1, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_1.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_1_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
MODELO 2
mod_2 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(IVS) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_2)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_2)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_2, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_2.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_2_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
MODELO 3
mod_3 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(IDHM) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_3)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_3)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_3, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_3.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_3_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
MODELO 4
mod_4 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(TOE) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)

```

```

Resumo do modelo
summary(mod_4)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_4)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_4, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_4.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_4_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)

MODELO 5
mod_5 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(TMI) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_5)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_5)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_5, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_5.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_5_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)

MODELO 6
mod_6 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(TxL) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_6)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_6)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_6, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_6.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_6_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
MODELO 7
mod_7 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(IDSC_3) +
s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)
Resumo do modelo
summary(mod_7)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_7)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_7, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)

Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_7.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_7_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
MODELO 8
mod_8 <- gam(log(tx_incid_padronizada + 1) ~ s(tempo) + s(IDHM_R) +
s(IDHM_L) + s(longitude, latitude, bs="gp", k=18),
family = poisson(link=log), data = base_gam2)

```

```

Resumo do modelo
summary(mod_8)
Visualização dos efeitos suavizados
draw(mod_8)
Plots de diagnóstico
appraise(mod_8, method = "normal", point_col = "steelblue", point_alpha =
0.4)
Salvar gráficos
ggsave("gam_2/modelo_8.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
ggsave("gam_2/modelo_8_diagnostico.png", width = 12, height = 7, dpi = 300)
...
Modelagem da Mortalidade

Carregar pacotes necessários
library(gamlss)
library(gamlss.add)
library(gamlss.dist)

Carregar base de dados
base_gam2 <- readRDS("bd/base_gam2.rds")

Adicionar constante à taxa de mortalidade para evitar log(0)
base_gam2 <- base_gam2 %>%
 mutate(tx_mort_trans = tx_mort + 1e-6)

Remover observações com valores faltantes
base_gam2 <- na.omit(base_gam2)

Ajuste dos Modelos GAMLSS

Modelo com IDSC
mod_IDSC <- gamlss(obitos_esperados ~ pb(IDSC) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
 family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_IDSC)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_IDSC, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
 col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
 ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_IDSC, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_IDSC)

Modelo com IVS
mod_IVS <- gamlss(tx_mort_padronizada ~ pb(IVS) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
 family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_IVS)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_IVS, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
 col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
 ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_IVS, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_IVS)

Modelo com IDHM

```

```

mod_IDHM <- gamlss(tx_mort_padronizada ~ pb(IDHM) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_IDHM)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_IDHM, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_IDHM, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_IDHM)

Modelo com TOE
mod_TOE <- gamlss(tx_mort_padronizada ~ pb(TOE) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_TOE)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_TOE, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_TOE, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_TOE)

Modelo com TMI
mod_TMI <- gamlss(tx_mort_padronizada ~ pb(TMI) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_TMI)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_TMI, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_TMI, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_TMI)

Modelo com TxL
mod_TxL <- gamlss(tx_mort_padronizada ~ pb(TxL) + pb(percentual_idosos) +
pb(tempo) + ga(~ longitude + latitude),
family = ZINBI, data = base_gam2)
summary(mod_TxL)
par(bg = "white", mfrow = c(2, 2))
term.plot(mod_TxL, ask = FALSE, se = TRUE, scheme = "shaded",
col.term = "black", col.se = "orange", col.shaded = "lightgray",
ylim = "free", main = "Efeitos dos Termos")
wp(mod_TxL, col = "red", pch = 21, bg = "wheat")
title(main = "Worm Plot para Diagnóstico de Resíduos")
par(bg = "white", mfrow = c(1, 1))
plot(mod_TxL)

```

```
Mapas de Incidência, Mortalidade e Letalidade#####
Carregar pacotes necessários
library(tmap)
library(raster)

Carregar as bases de dados
base_covid <- readRDS("bd/base_covid.rds")
pop_TO <- readRDS("bd/pop.rds") # Base População do Tocantins

Filtrar dados de população para os anos de 2020 e 2021
pop_2020 <- pop_TO %>%
 filter(Faixa_Etaria == "Total", Ano == 2020, Sexo == "Total") %>%
 dplyr::select(cod_ibge, cod_municipio, nome_municipio, Faixa_Etaria, Ano,
Populacao) %>%
 dplyr::mutate(cod_ibge = as.character(cod_ibge))

pop_2021 <- pop_TO %>%
 filter(Faixa_Etaria == "Total", Ano == 2021, Sexo == "Total") %>%
 dplyr::select(cod_ibge, cod_municipio, nome_municipio, Faixa_Etaria, Ano,
Populacao) %>%
 dplyr::mutate(cod_ibge = as.character(cod_ibge))

Calcular incidência, mortalidade e letalidade
tx_inc_let_mun <- base_covid %>%
 group_by(evolucaocaso_coe, ondas, municipioibge, municipio, nome_regiao)
%>%
 summarise(casos = n(), .groups = 'drop') %>%
 spread(key = evolucaocaso_coe, value = casos) %>%
 mutate(obito = replace_na(obito, 0)) %>%
 left_join(pop_2021, by = c("municipioibge" = "cod_ibge")) %>%
 mutate(tx_incid = round(caso / Populacao * 100000, 2),
tx_mort = round(obito / Populacao * 100000, 2),
letalidade = round(obito / caso * 100, 2)) %>%
 dplyr::select(ondas, municipioibge, municipio, nome_regiao, Populacao,
caso, tx_incid, obito, tx_mort, letalidade)

Carregar shapefile
mapa_to <- shapefile("bd/TO_Municipios_2022.shp")

Filtrar dados por período
tx_inc_let_mun_p1 <- tx_inc_let_mun %>% filter(ondas == "Periodo_1")
tx_inc_let_mun_p2 <- tx_inc_let_mun %>% filter(ondas == "Periodo_2")
tx_inc_let_mun_p3 <- tx_inc_let_mun %>% filter(ondas == "Periodo_3")
tx_inc_let_mun_p4 <- tx_inc_let_mun %>% filter(ondas == "Periodo_4")
tx_inc_let_mun_p5 <- tx_inc_let_mun %>% filter(ondas == "Periodo_5")

Unir dados ao shapefile
mapa_p1 <- merge(mapa_to, tx_inc_let_mun_p1, by.x = "CD_MUN", by.y =
"municipioibge", all.x = TRUE)
mapa_p2 <- merge(mapa_to, tx_inc_let_mun_p2, by.x = "CD_MUN", by.y =
"municipioibge", all.x = TRUE)
mapa_p3 <- merge(mapa_to, tx_inc_let_mun_p3, by.x = "CD_MUN", by.y =
"municipioibge", all.x = TRUE)
mapa_p4 <- merge(mapa_to, tx_inc_let_mun_p4, by.x = "CD_MUN", by.y =
"municipioibge", all.x = TRUE)
mapa_p5 <- merge(mapa_to, tx_inc_let_mun_p5, by.x = "CD_MUN", by.y =
"municipioibge", all.x = TRUE)

Substituir valores NA por 0
mapa_p1$tx_incid[is.na(mapa_p1$tx_incid)] <- 0
mapa_p1$tx_mort[is.na(mapa_p1$tx_mort)] <- 0
```

```

mapa_p1$letalidade[is.na(mapa_p1$letalidade)] <- 0

mapa_p2$tx_incid[is.na(mapa_p2$tx_incid)] <- 0
mapa_p2$tx_mort[is.na(mapa_p2$tx_mort)] <- 0
mapa_p2$letalidade[is.na(mapa_p2$letalidade)] <- 0

mapa_p3$tx_incid[is.na(mapa_p3$tx_incid)] <- 0
mapa_p3$tx_mort[is.na(mapa_p3$tx_mort)] <- 0
mapa_p3$letalidade[is.na(mapa_p3$letalidade)] <- 0

mapa_p4$tx_incid[is.na(mapa_p4$tx_incid)] <- 0
mapa_p4$tx_mort[is.na(mapa_p4$tx_mort)] <- 0
mapa_p4$letalidade[is.na(mapa_p4$letalidade)] <- 0

mapa_p5$tx_incid[is.na(mapa_p5$tx_incid)] <- 0
mapa_p5$tx_mort[is.na(mapa_p5$tx_mort)] <- 0
mapa_p5$letalidade[is.na(mapa_p5$letalidade)] <- 0

Quebras para as taxas (Incidência, Mortalidade e Letalidade)
dados_sem_zero <- c(mapa_p1$tx_incid, mapa_p2$tx_incid, mapa_p3$tx_incid,
mapa_p4$tx_incid, mapa_p5$tx_incid)
dados_sem_zero <- dados_sem_zero[dados_sem_zero > 0]
quartis_sem_zero <- quantile(dados_sem_zero, probs = seq(0, 1, by = 0.25),
na.rm = TRUE)
breaks_tx_inc <- c(0, 0.1, quartis_sem_zero[2], quartis_sem_zero[3],
quartis_sem_zero[4], max(dados_sem_zero))

Paleta de cores para os mapas de incidência
cor_paleta <- c("#FFFFFF", RColorBrewer::brewer.pal(3, "BuPu"))

Listas de períodos e nomes dos períodos
periodos <- list(mapa_p1, mapa_p2, mapa_p3, mapa_p4, mapa_p5)
nomes_periodos <- c("Taxa de incidência 1ª onda", "Taxa de incidência 2ª
onda",
 "Taxa de incidência 3ª onda", "Taxa de incidência 4ª
onda",
 "Taxa de incidência 5ª onda")

Criar mapas para cada período (Incidência)
for (i in 1:length(periodos)) {
 labels_legenda <- paste0(head(breaks_tx_inc, -1), " a ",
tail(breaks_tx_inc, -1))

 mapa <- tm_shape(periodos[[i]]) +
 tm_polygons("tx_incid", palette = cor_paleta, breaks = breaks_tx_inc,
 title = nomes_periodos[[i]], textNA = "Incidência = 0",
labels = labels_legenda) +
 tm_layout(legend.title.size = 1.3, legend.text.size = 1,
legend.position = c("left", "top"),
 legend.bg.alpha = 0, legend.height = 0.4, legend.width = 0.5,
bg.color = "white") +
 tm_compass(type = "8star", position = c("right", "top")) +
 tm_scale_bar(position = c("right", "bottom")) +
 tm_borders(col= "black", lwd= 1.5)

 nome_arquivo <- paste0("resultados/mapa_", nomes_periodos[i], ".png")
 tmap_save(mapa, filename = nome_arquivo, width = 7, height = 11, units =
"in", dpi = 300)
}

Repetir o mesmo processo para mortalidade e letalidade

```

## APÊNDICE D – Instrumento de Coleta de Dados

**INSTRUMENTO PARA COLETA DE DADOS DA BASE ESUS NOTIFICA****IDENTIFICAÇÃO**

1. Município de Residência: \_\_\_\_\_
2. Data da Notificação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_
3. Ocupação (CBO): \_\_\_\_\_
4. Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_
5. Sexo:  Masculino  Feminino
6. Raça/Cor:  Branca  Preta  Amarela  Parda  Ignorado  Indígena
7. Se indígena, informar etnia: \_\_\_\_\_

**DADOS CLÍNICOS EPIDEMIOLÓGICOS**

8. Sintomas:  Assintomático  Febre  Dor de Garganta  Dispneia  Tosse  
 Coriza  Dor de Cabeça  Distúrbios gustativos  Distúrbios olfativos   
Outros \_\_\_\_\_
9. Data do início dos sintomas: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_
10. Comorbidades:  Doenças cardíacas crônicas  Diabetes  
 Doenças respiratórias crônicas  Puérpera (até 45 dias do parto)  Gestante  
 Doenças renais crônicas em estágio avançado (graus 3, 4 e 5)  Imunossupressão  
 Obesidade  Portador de doenças cromossômicas ou estado de fragilidade  
imunológica  Outros \_\_\_\_\_

**EXAMES LABORATORIAIS**

11. Resultado Teste:  Não reagente  Reagente  Inconclusivo ou Indeterminado
12. Data do Teste: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**ENCERRAMENTO**

13. Evolução do caso:  Cancelado  Em tratamento domiciliar  Cura  Internado  
 Internado em UTI  Óbito  Ignorado
14. Data do Óbito: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**VACINA**

15. Recebeu vacina Covid-19?  Sim  Não

## ANEXOS

ANEXO A - Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO TOCANTINS -  
UFT



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** COVID-19 NO ESTADO DO TOCANTINS: SITUAÇÃO SOCIOECONÔMICA E ATENÇÃO À SAÚDE

**Pesquisador:** JOSE BRUNO NUNES FERREIRA SILVA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 69780923.2.0000.5519

**Instituição Proponente:** Fundação Universidade Federal do Tocantins

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 6.124.299

#### Apresentação do Projeto:

No Brasil a COVID-19 tornou-se uma emergência nacional de saúde pública em 3 de fevereiro de 2020 com seu primeiro caso confirmado em 25 de fevereiro de 2020, em um viajante retornando a São Paulo vindo do norte da Itália (SOUZA et al., 2020). Diante da rápida disseminação do vírus, em 30 de janeiro de 2020, a OMS declarou que o surto do SARS-CoV-2 era uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII). Em 11 de março do mesmo ano a COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia, termo utilizado

quando há existência de surtos ou epidemias da doença em vários países e regiões do mundo (OPAS, 2022). Desde então, lideranças de diversos países têm se empenhado para encontrar maneiras diferentes de combater o vírus. No primeiro momento a medida não farmacológica mais eficaz utilizada foi o distanciamento social (quarentena), que no Brasil foi orientada através da Lei nº 13.979 de 06 de fevereiro de 2020 (BRASIL, 2020).

Esta lei tinha como objetivo dispor sobre as medidas para enfrentamento da COVID-19 com medidas de isolamento, quarentena, notificação e investigação epidemiológica (MARCOLINO et al., 2021).

#### Objetivo da Pesquisa:

**Objetivo Primário:**

Caracterizar o perfil epidemiológico dos casos e óbitos por COVID-19 e verificar se são

**Endereço:** Quadra 109 Norte, Av. Ns 15, ALCNO 14, Prédio da Reitoria, 2º Pavimento, Sala 16.  
**Bairro:** Plano Diretor Norte **CEP:** 77.001-060  
**UF:** TO **Município:** PALMAS  
**Telefone:** (63)3229-4023 **E-mail:** cep\_uft@uft.edu.br

**ANEXO B - Dispensa do uso do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)****SOLICITAÇÃO DE ISENÇÃO DO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E  
ESCLARECIDO**

Ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal do Tocantins:

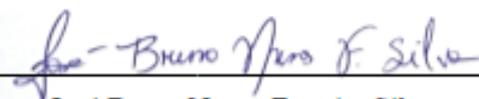
Vimos por meio deste documento solicitar a dispensa de obtenção de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para o estudo intitulado "**PERFIL EPIDEMIOLÓGICO DA COVID-19 NO ESTADO DO TOCANTINS: A INFLUÊNCIA DA SITUAÇÃO SOCIOECONÔMICA E DA QUALIDADE DA ATENÇÃO À SAÚDE**" proposto por José Bruno Nunes Ferreira Silva.

A dispensa do uso de TCLE se fundamenta:

1. Por ser um estudo descritivo retrospectivo que empregará apenas informações de sistemas de informação;
2. Os dados analisados serão tabulados de forma anônima, sem identificação dos participantes de pesquisa;
3. Os resultados decorrentes serão apresentados de forma agregada, sem possibilidade de identificação dos participantes;
4. Trata-se de um estudo sem intervenção clínica, identificação de autopercepção ou autoconhecimento dos participantes, sem alterações/influência na rotina/tratamento do participante, além de não apresentar risco direto ou prejuízo ao bem-estar do mesmo.

O investigador principal e demais colaboradores envolvidos no estudo acima se comprometem, individual e coletivamente, a utilizar os dados provenientes deste, apenas para os fins descritos e a cumprir todas as diretrizes e normas regulamentadoras descritas na Res. CNS Nº 466/12, e suas complementares, no que diz respeito ao sigilo e confidencialidade dos dados coletados.

Att.,

  
\_\_\_\_\_  
José Bruno Nunes Ferreira Silva  
Coordenador e Orientador do Projeto de Pesquisa

15 de Maio de 2023

## ANEXO C - Termo Compromisso para Utilização e Manuseio de Dados (TCUD)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE  
CÂMPUS DE PALMAS



Avenida NS 15, Quadra 109 Norte | Plano Diretor Norte  
Sala 22, Bloco III, Campus de Palmas | 77001-090 | Palmas/TO  
(63) 3232-8187 | [www.uft.edu.br/ppgcs](http://www.uft.edu.br/ppgcs) | [mprofisaudef@uft.edu.br](mailto:mprofisaudef@uft.edu.br)

**TERMO DE RESPONSABILIDADE PARA USO, GUARDA E DIVULGAÇÃO DOS  
DADOS DA PESQUISA**

<b>Título do projeto:</b> COVID-19 no Estado do Tocantins: Situação Socioeconômica e Atenção à Saúde	
<b>Nome do coordenador(a):</b> Jose Bruno Nunes Ferreira Silva	
<b>RG:</b> 2001097147698 SSPDS/CE	<b>CPF:</b> 020.650.713-54
<b>Endereço:</b> ARNO 43 alameda 01 s/n – st noroeste – residencial lago norte	<b>n° BL A – APTO 107</b>
<b>Bairro:</b> Plano Diretor Norte	<b>Cidade:</b> Palmas
<b>CEP:</b> 77.001-572	<b>Estado:</b> Tocantins

O coordenador do projeto, se declara ciente e de acordo:

- a) de todos os termos do presente instrumento, assumindo toda e qualquer responsabilidade por quaisquer condutas, ações ou omissões que importem na inobservância do presente e consequente violação de quaisquer das cláusulas abaixo descritas bem como por outras normas previstas em lei, aqui não especificadas, respondendo de forma ilimitada, irretroatável, irrevogável e absoluta perante a fornecedora dos dados e arquivos em eventuais ações regressivas, bem como perante terceiros eventualmente prejudicados por sua não observação.
- b) de que os dados referentes aos casos e óbitos por COVID-19 no estado do Tocantins a ele fornecidos deverão ser usados, guardados e preservados em sigilo e que eventual divulgação dos dados deverá ser feita em estrita observação aos princípios éticos de pesquisa, resguardando-se ainda aos termos da Constituição Federal de 1988, especialmente no tocante ao direito a intimidade e a privacidade dos consultados, sejam eles pacientes ou não.
- c) de que as informações constantes nos dados ou arquivos a ele disponibilizados deverão ser utilizados apenas e tão somente para a execução e pesquisa do projeto acima descrito, sendo vedado o uso em outro projeto, seja a que título for salvo expressa autorização em contrário pelos participantes da pesquisa por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
- d) de que eventuais informações a serem divulgadas, serão única e exclusivamente para fins de pesquisa científica, sendo vedado uso das informações para publicação em quaisquer meios de comunicação de massa que não guardem compromisso ou relação científica, tais como televisão, jornais, periódicos e revistas, entre outros aqui não especificados.
- e) de que a Secretaria da Saúde/Superintendência de Vigilância em Saúde do Tocantins será mencionada quando houver divulgação na forma de mídia impressa ou digital dos resultados do projeto de pesquisa.
- f) sem prejuízo dos termos do presente, que deverão ser respeitadas as normas da Resolução 466/12 e suas complementares na execução do projeto em epígrafe.

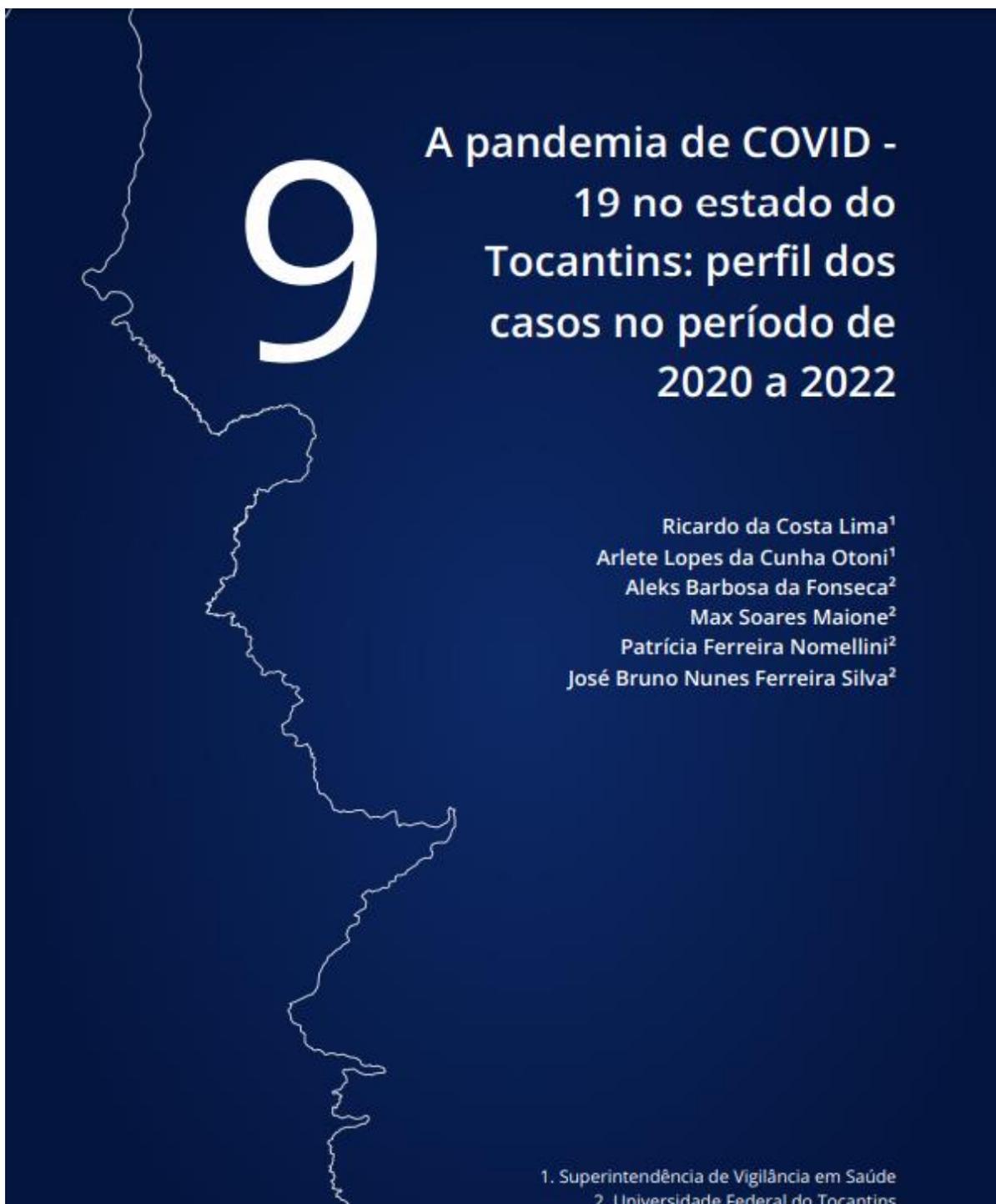
Palmas, 23 de junho de 2023.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JOSE BRUNO NUNES FERREIRA SILVA  
Data: 12/07/2023 11:28:22-0800  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

JOSE BRUNO NUNES FERREIRA SILVA

**ANEXO D** – Comprovante de publicação em Capítulo de Livro

Livro Saúde Tocantins 2023 - ISBN 978-65-87830-29-2



## ANEXO E – Envio de trabalho para congresso



Prezado(a) Sr(a). RICARDO DA COSTA LIMA (1375)

Seu trabalho foi recebido com sucesso. Ele será encaminhado à Comissão Científica para análise e seleção. Você poderá acompanhar o status da avaliação de seu trabalho através da área restrita do site, informando seu login e senha.

Atenciosamente,  
Secretaria do Evento

-----  
**Responsável pela Inscrição:**  
RICARDO DA COSTA LIMA

**Título:**  
ASSOCIAÇÃO DE INDICADORES SOCIAIS E SAÚDE COM COVID-19: MODELOS GEO-ESPACIAIS, TOCANTINS

**Categoria de apresentação de trabalho:**  
Relato de Pesquisa

**Modalidade desejada:**  
Pôster

**Tema:**  
Métodos e técnicas em estudos epidemiológicos

**Texto (resumo):**

**Objetivos:** Analisar a relação dos indicadores sociais e de saúde com a taxa de incidência de COVID-19 no Tocantins entre 2020 e 2023, utilizando modelos aditivos generalizados geoespacial com componente temporal.

**Métodos:** Estudo ecológico com componente de série temporal. Dados de COVID-19 foram obtidos da Secretaria de Saúde. Indicadores sociais incluíram o Índice de Vulnerabilidade Social-(IVS) do IPEA, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-(IDHM) do PNUD, e Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades-(IDSC) da plataforma Cidades Sustentáveis. Indicadores de saúde incluíram taxa de óbitos evitáveis-(TOE), taxa de mortalidade infantil-(TMI) e leitos por 1.000 habitantes-(LxH) do DATASUS. Utilizamos modelos de regressão semi-paramétricos aditivos generalizados com componente geo-espacial e de série temporal para avaliar a relação desses indicadores com a COVID-19, gerando 6 modelos, cada um com uma única covariável, a análise foi realizada com o R 4.2.2 utilizando os pacotes mgcv e gratia.

**Resultados:** Os modelos indicaram associação dos indicadores com a taxa de incidência. Dentre os resultados pode-se destacar que taxa de incidência cresceu exponencialmente no início nas primeiras semanas do estudo, apresentando picos antes de iniciar uma tendência de queda nas últimas semanas. Maiores taxas de incidência foram observadas em municípios com melhores indicadores sociais. Em contrapartida, mostrando uma relação inversa, indicadores de saúde mostraram maior incidência em municípios com piores indicadores.

**Avanços e/ou aplicações do estudo:**

Neste estudo há um aprimoramento de conhecimento sobre os fatores sociais e de saúde e sua relação com a incidência da COVID-19 de forma direta ou inversa, possibilitando traçar e informar políticas públicas para alocação de recursos e intervenções direcionadas em áreas mais vulneráveis, e auxiliando no planejamento de estratégias de saúde coletiva no Tocantins.

**Fonte(s) de financiamento:**  
Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins - FAPT / Governo do Tocantins.

**Você tem algum conflito de interesses a declarar?**  
Não

**Apresentador:**  
RICARDO DA COSTA LIMA - [ricardo.lima@uft.edu.br](mailto:ricardo.lima@uft.edu.br)

**Autor(es):**  
> RICARDO DA COSTA LIMA - Lima, R.C. - SES-TO/UFT  
> ELISANGELA APARECIDA DA SILVA LIZZI - Lizzi, E. A. S. - UTFPR  
> PATRÍCIA FERREIRA NOMELE - Nomellini, P. F. - UFT  
> JOSÉ BRUNO NUNES FERREIRA SILVA - Silva, J.B.N.F. - UFT

## Anexo F – Produto Técnico

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS  
**Wanderlei Barbosa**  
 SECRETÁRIO DE ESTADO DA SAÚDE  
**Carlos Felinto Junior**  
 SUPERINTENDENTE DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE  
**Perciliana Joaquina Bezerra de Carvalho**

**Elaboração, Edição e Distribuição**

Secretaria de Estado da Saúde  
 Superintendência de Vigilância em Saúde  
 Diretoria de Gestão e Informação de Vigilância em Saúde  
 Gerência de Sala de Situação de Saúde  
 Organização: Gerência de Sala de Situação de Saúde  
 Produção: Superintendência de Vigilância em Saúde

**Editores-Gerais**

Wagner Santos de Jesus  
 Ricardo da Costa Lima

**Editores - Executivos**

Maria do Socorro Vieira Freitas de Campos  
 Gisele Silva Carvalho Luz  
 Sérgio Luís de Oliveira Silva  
 Mary Ruth Batista Glória Maia  
 Jucimária Dantas Galvão  
 Amanda Campos Feitosa  
 André Henrique Ribeiro

**Editores Científicos**

Perciliana Joaquina Bezerra de Carvalho  
 José Bruno Nunes Ferreira Silva  
 Danielle Rosa Evangelista

**Equipe Editorial**

Organização: Ricardo da Costa Lima e Wagner Santos de Jesus  
 Capa, projeto gráfico, diagramação: Auriana de Sousa Silva e Renata Tavares Nascimento  
 Apoio: Universidade Federal do Tocantins - UFT

**Apoio**

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde - PPGCS  
 Escola Tocantinense do SUS - Dr. Gismar Gomes (ETSUS - TO)



Edifício Lauro Knopp - Quadra 104 Norte,  
 Avenida LO 2, 125, Plano Diretor Norte.  
 CEP: 77006-022, Palmas / TO  
 E-mail: svpps.to@gmail.com

*Ficha Catalográfica*

S255

Saúde Tocantins 2023[recurso eletrônico]: uma análise de situação de saúde com foco nas doenças negligenciadas. / Secretaria de Estado da Saúde do Tocantins, Superintendência de Vigilância em Saúde. organizadores: Ricardo da Costa Lima, Wagner Santos de Jesus; ilustração: Auriana Sousa Silva, Renata Tavares Nascimento. – Palmas, TO: Secretaria de Estado da Saúde, 2024. 348p.: il. ; 22 cm.

Coletânea de artigos com diversos autores  
 ISBN 978-65-87830-30-8 (físico)  
 ISBN 978-65-87830-29-2 (digital)