

Relatório Técnico Sobre o Avanço Pandemia Causada pelo Vírus SARS-CoV-2 na Cidade de Dourados, MS

Análise de Dados, Comparações de Cenários e Modelo Preditivo

Fernando Ferraz Ribeiro¹, Autor2², Autor3¹, Autor4³

¹Universidade Federal da Bahia – Faculdade de Arquitetura – LCAD (UFBA)
Salvador, BA – Brasil

²Department of Computer Science – University of Durham
Durham, U.K.

³Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

`fernando.ribeiro@ufba.br, autor2@gmail.com, autor3@gmail.com autor4@gmail.com`

Abstract. *This report presents a study on the progress of the pandemic caused by the Sars-Cov2 virus in the municipality of Dourados, MS. For this purpose, the database provided by the Ministry of Health was used. The report presents a descriptive analysis of the data available in that database. A comparison with the cases diagnosed in other municipalities in the same state and with data from the city of Manaus, AM, used as a reference for an emblematic case of the advance of the pandemic in Brazil. In the end, a predictive model adapted from DELPHI, developed by a research team linked to MIT, used as an instrument to visualize the future scenario where current trends of progress are maintained and confirmed.*

Resumo. *Este relatório apresenta um estudo sobre o avanço da pandemia causada pelo vírus Sars-Cov2 no município de Dourados, MS. Para tanto foi utilizada a base de dados fornecida pelo Ministério da Saúde. O relatório apresenta uma análise descritiva dos dados disponíveis na referida base. Uma comparação com os casos diagnosticados em outros municípios do mesmo estado e com os dados da cidade de Manaus, AM, utilizado como referência de um caso emblemático do avanço da pandemia no Brasil. Ao fim, um modelo preditivo adaptado do DELPHI, desenvolvido por uma equipe de pesquisa vinculada ao MIT, utilizado como instrumento de visualização do cenário futuro onde as atuais tendências de avanço sejam mantidas e confirmadas.*

1. Introdução

O avanço da pandemia da covid-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, tem se apresentado como o mais importante desafio do tempo presente. Autoridades políticas, cientistas e a sociedade tem buscado se organizar com o intuito de minimizar os grandes malefícios, direta ou indiretamente ligados à propagação desta enfermidade. De acordo com a *Johns Hopkins University*, uma das principais fontes de dados mundiais sobre o tema, o número de casos confirmados no mundo já ultrapassa os 9 milhões (em 23/06/2020).

A adequada coleta e análise dos dados relativos à pandemia tem sido uma importante ferramenta no enfrentamento desta crise, sendo usada para direcionar ações, recursos e informações em todas as esferas da sociedade, na procura de um caminho menos calamitoso na lida com este nebuloso cenário.

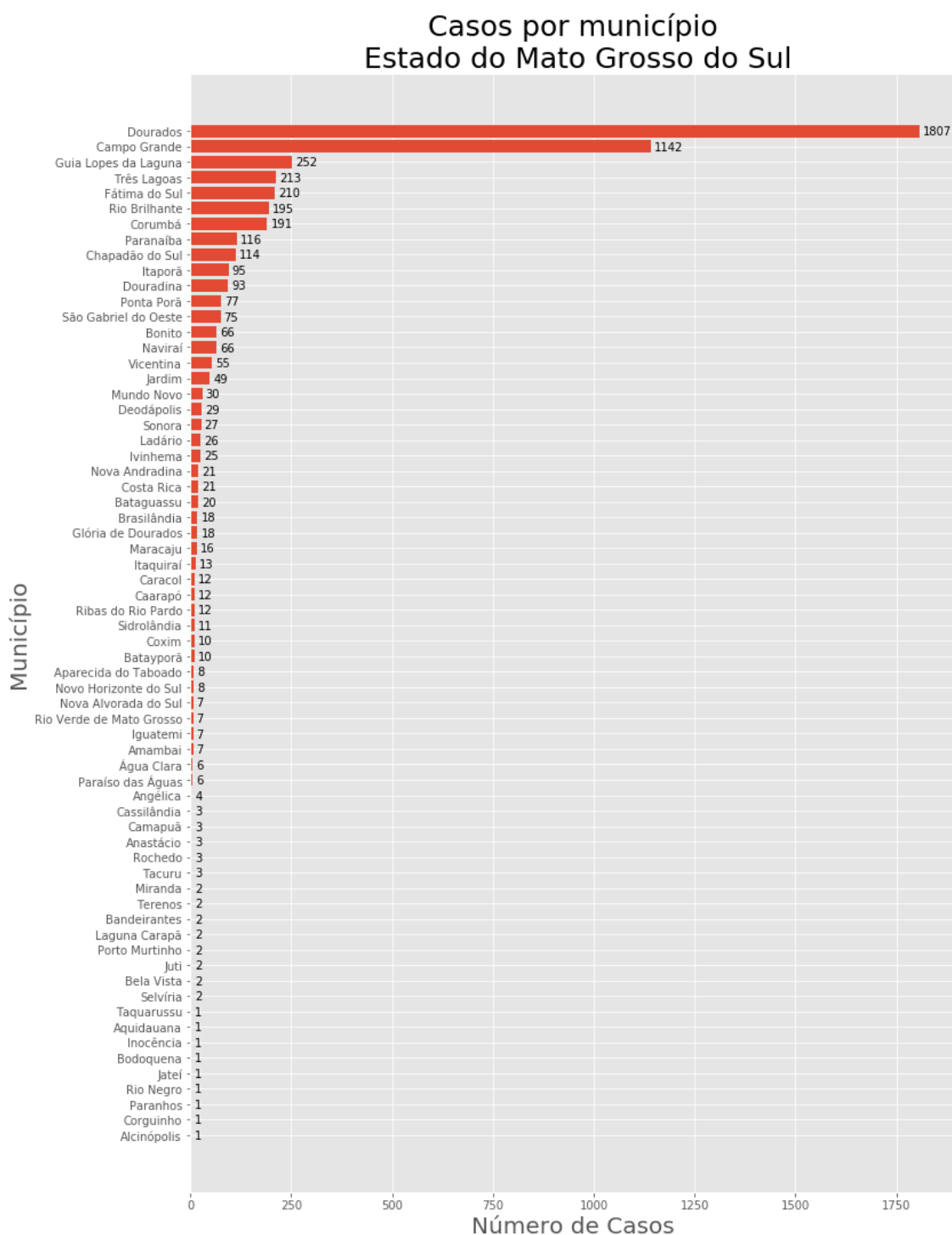


Figura 1. Número de casos diagnosticados por município (MS)

No presente trabalho, uma análise dos dados da cidade de Dourados, MS e apre-

sentada. A situação da cidade é comparada com os demais municípios do estado e a curva de crescimento registrada na referida cidade é comparada com a curva registrada na cidade de Manaus, AM. Em seguida os dados são utilizados para alimentar um modelo preditivo baseado no DELPHI, desenvolvido por uma equipe de pesquisadores ligada ao MIT. Na conclusão, os resultados obtidos são analisados e possíveis desdobramentos de pesquisa sugeridos.

2. Metodologia

Mesmo sob a alardeada interiorização da pandemia no Brasil, o caso do município de Dourados, MS chama a atenção pelo fato de, mesmo com uma população equivalente à $\frac{1}{4}$ da de Campo Grande, apresenta um número total de casos diagnosticados aproximadamente 60% maior do que os registrados na capital.

A fonte de dados utilizada na elaboração deste relatório foram obtidas no portal **CORONAVÍRUS BRASIL**¹, onde as informações oficiais do Ministério da Saúde sobre a pandemia são disponibilizados. As informações constantes como número de casos (acumulados e novos casos) e sobre a população de cada município foram extraídas desta base. Os dados utilizados foram os disponibilizados do dia 21/06/2020.

Com base neste conjunto de dados, foram comparados o número de casos e a população dos diferentes municípios do estado. Representadas em forma de diagramas e mapas (dados geoespaciais) procurando entender como está a distribuição de casos nas diversas regiões do estado. A curva de crescimento dos casos do município foram comparadas com a curva do município de Manaus, AM, procurando entender o quanto esta evolução se aproxima de um caso emblemático da evolução do contágio em território nacional.

Estratégias de visualização de dados e ajuste de polinômios foram utilizadas para ilustrar e entender o caso em estudo. Após essas análises, os dados foram tratados e submetidos ao modelo preditivo escolhido. Ao fim, os resultados são discutidos.

3. Análise de Dados

As figuras 1 e 2 confirmam as informações sobre a maior incidência de casos em Dourados do que na capital do estado, Campo Grande e mostra que o município está em primeiro lugar em número de casos do estado, sendo a segunda em população do estado.

Já em números relativos, a Figura 2, número de casos por 100 mil habitantes, mostra que a cidade objeto deste estudo está em quinto lugar. As cidades que aparecem em sua frente nesta lista, sendo estas: Guia Lopes da Laguna, Douradina, Fátima do Sul e Vicentina, pela ordem, possuem populações muito inferiores. Respectivamente 9895, 5924, 19189 e 6102 habitantes. A de maior população dentre estas (Guia Lopez das Lagunas) apresenta menos de $\frac{1}{10}$ da população de Dourados. Deve-se levar em conta que, quanto menor a cidade, um mesmo número de casos leva a uma proporção maior quando a análise é ponderada pelo número de habitantes. Ainda assim, estas cidades aparecem em posições altas na lista das maiores em número de casos totais (Fig. 1). Guia Lopes da Laguna, Fátima do Sul, Douradina e Vicentina são respectivamente a terceira(252 casos), quinta(210), décima primeira(93) e décima sexta(93).

¹ <https://covid.saude.gov.br/>

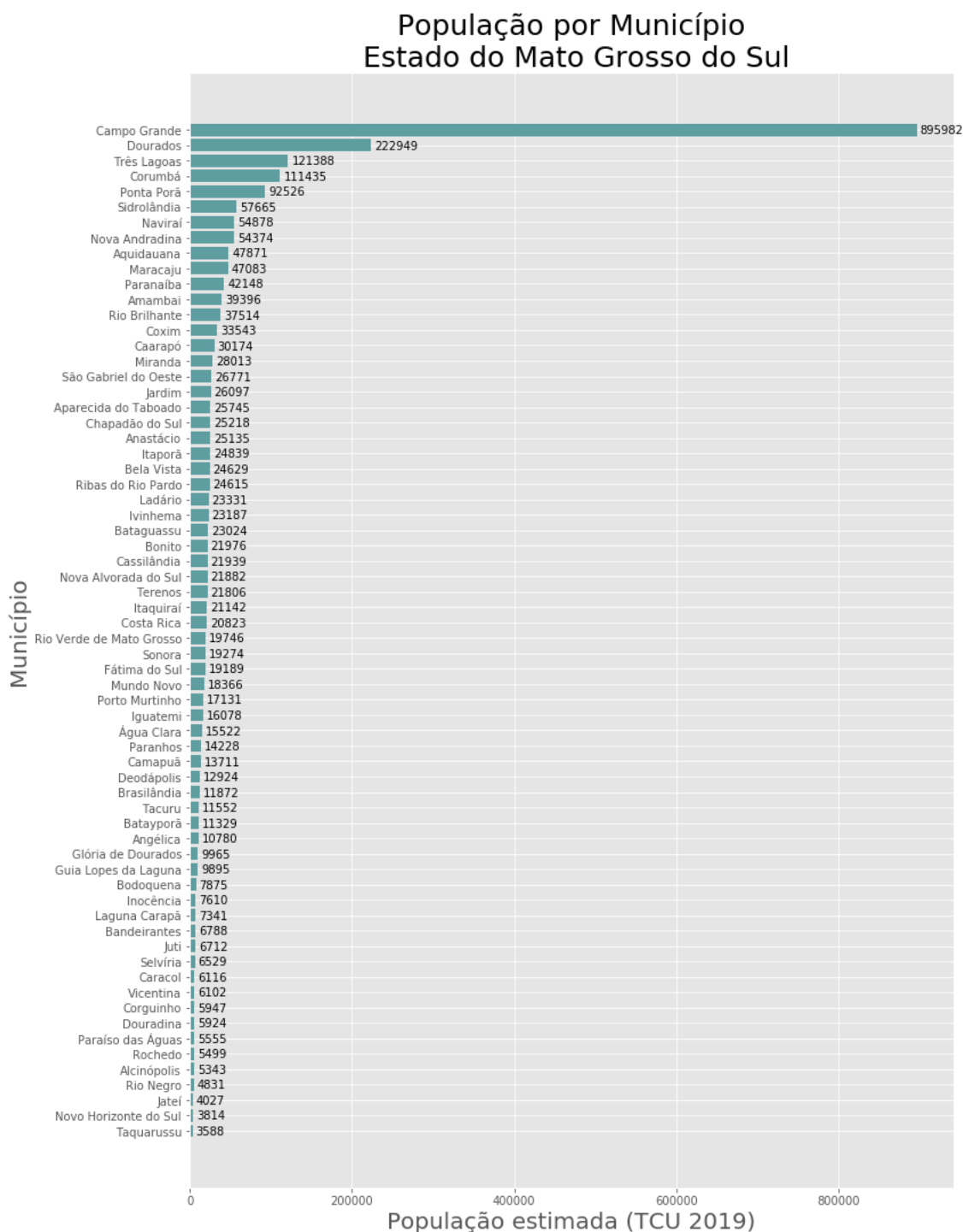


Figura 2. População por município (MS)

3.1. Dados Geoespaciais

O aspecto geográfico é de grande impacto na análise de dados de um fenômeno com as características de uma epidemia. Os estados, cidades e até mesmo subdivisões menores do espaço como bairros e localidades ou maiores como países e continentes não delimitam populações estanques e incomunicáveis. As dinâmicas de deslocamento das populações são fundamentais para o entendimento dos caminhos que o vírus percorreu

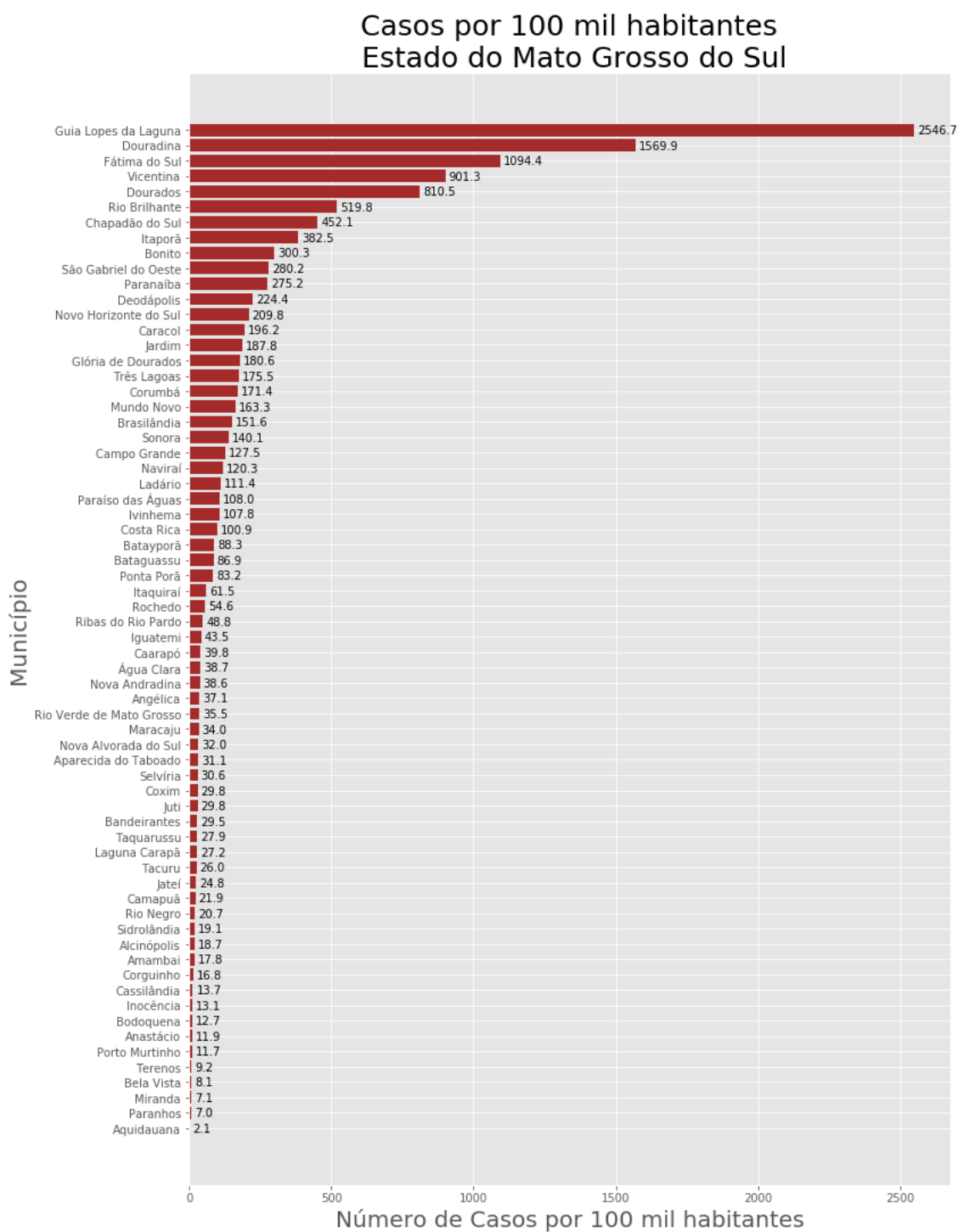


Figura 3. Número de casos por 100 mil habitantes em cada município (MS)

até um determinado local, mas também para estabelecer estratégias de combate eficazes.

Dois mapas foram utilizados para visualizar o cenário atual do estado: Um que mostra os municípios com maior incidência de casos totais (Fig. 4) e outro que mostra a incidência por cem mil habitantes (Fig. 5). Tanto o município de Dourados, quanto seu entorno aparecem em destaque na escala de cores nos dois mapas.

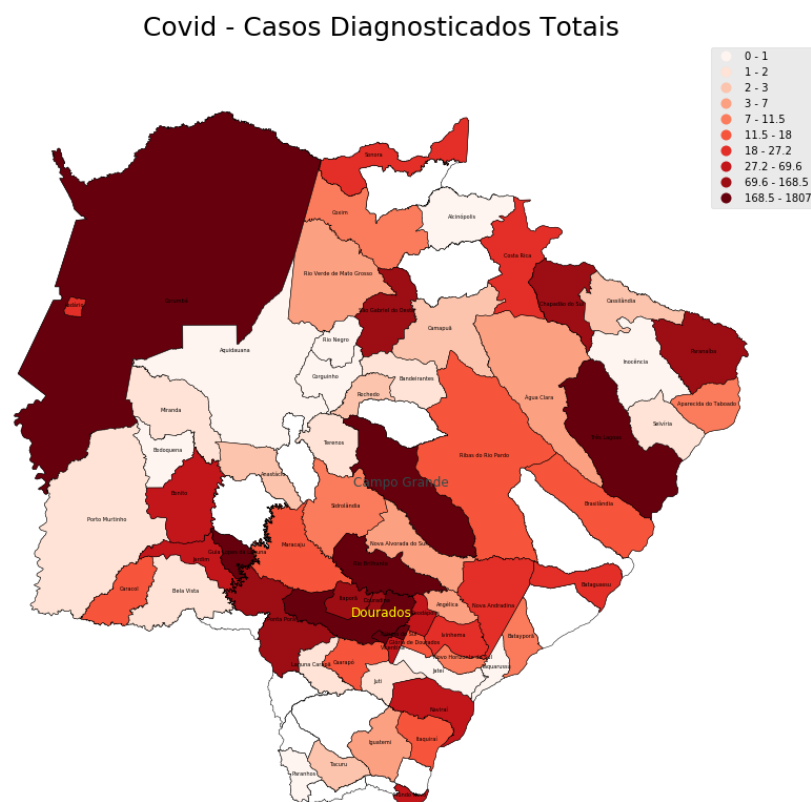


Figura 4. Mapa de casos diagnosticados por município (MS)

Das quatro cidades que apresentam maior número de casos por 100 mil habitantes (Fig. 3) apenas Guia Lopes da Laguna não faz fronteira com o município estudado. Considerando as 10 cidades com maior número de casos por 100 mil habitantes seis fazem divisa com o Dourados. Além do próprio estar em quinto lugar da lista temos: Douradina em segundo, Fátima do Sul em terceiro, Vicentina em quarto, Rio Brilhante em sexto Itaporã em oitavo e Deodápolis em décimo. Em primeiro lugar, Guia Lopes da Laguna não está tão distante, fazendo fronteira com dois municípios que possuem divisas com Dourados.

Em números absolutos Dourados é o primeiro do estado. Totaliza 34% dos casos confirmados em todo o estado. Considerando os municípios que fazem divisas diretas (Maracaju, Rio Brilhante, Itaporã, Douradina, Deodápolis, Fátima do Sul, Caarapó, Laguna Carapã e Ponta Porã) o obtemos 48% dos casos registrados até a data final deste estudo. Se forem acrescidos os municípios de Vicentina e Glória de Dourados chega-se á

Covid - Casos Diagnosticados em cada município por 100 mil habitantes

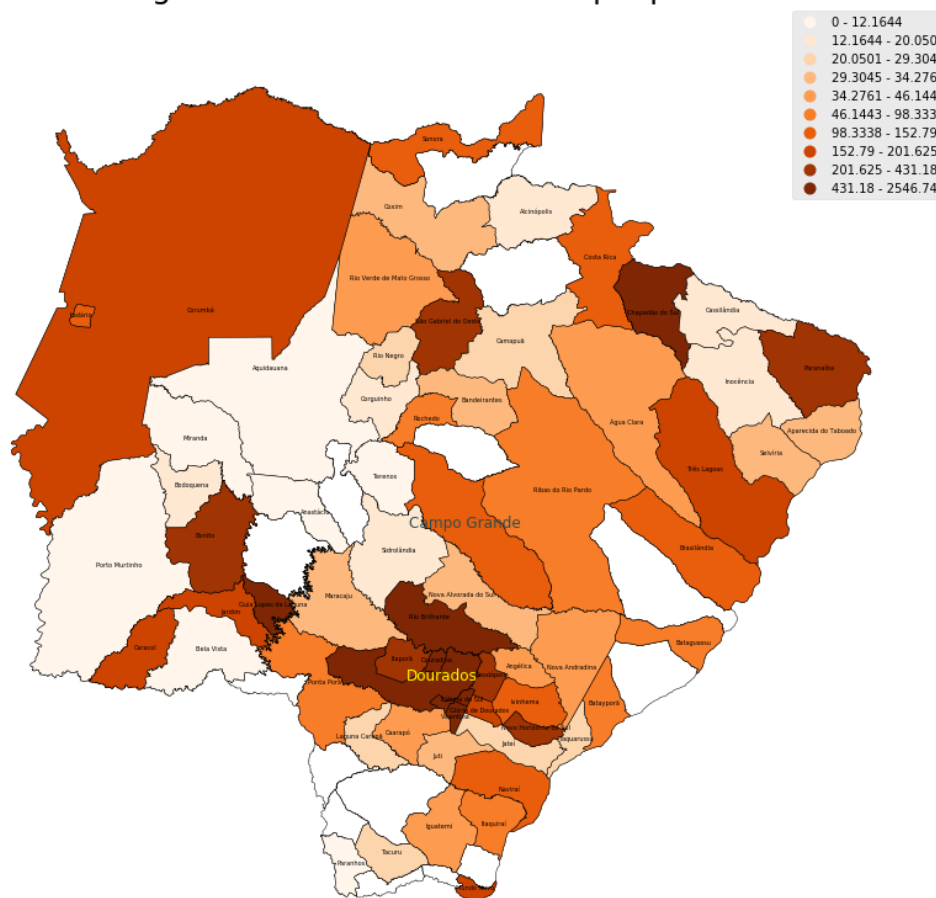


Figura 5. Número de casos diagnosticados por 100 mil habitantes em cada município (MS)

praticamente metade (49,7%) dos casos do estado.

3.2. Curva de Casos e Comparação com o cenário de Manaus

Os dados apresentados até então apresentam um quadro estático, como um retrato de um momento da pandemia no estado. Para avaliar a evolução do quadro ao longo do tempo, utilizamos a Figura 6 fig:curva100KLog onde pode-se ver os gráficos de casos por 100 mil habitantes a cada dia, e a Figura 7, que apresenta casos por 100 mil habitantes em escala logarítmica (base 10) por dia. Ambos apresentam a cidade de Dourados comparada a curva de Manaus, AM.

Na base de dados utilizada o primeiro registro de casos em Manaus é datado no dia 28/03/2020, neste dia são apresentados 105 casos. Considerando a população estimada em 2182763 habitantes da cidade, obtemos uma taxa de 4.81 casos por cem mil habitantes. Já em Dourados, o índice de aproximados 4.81 casos por 100 mil habitantes só é alcançado no dia 14/04/2020.

Para efeito de Visualização de dados o dia zero da curva de Dourados foi lançado

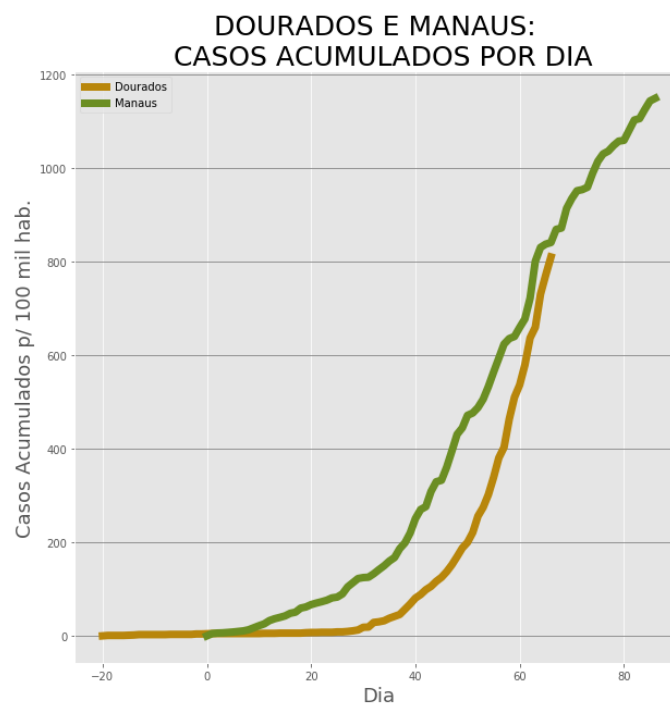


Figura 6. Curva do número de casos diagnosticados por 100 mil habitantes. Comparativo entre Dourados(MS) e Manaus(AM)

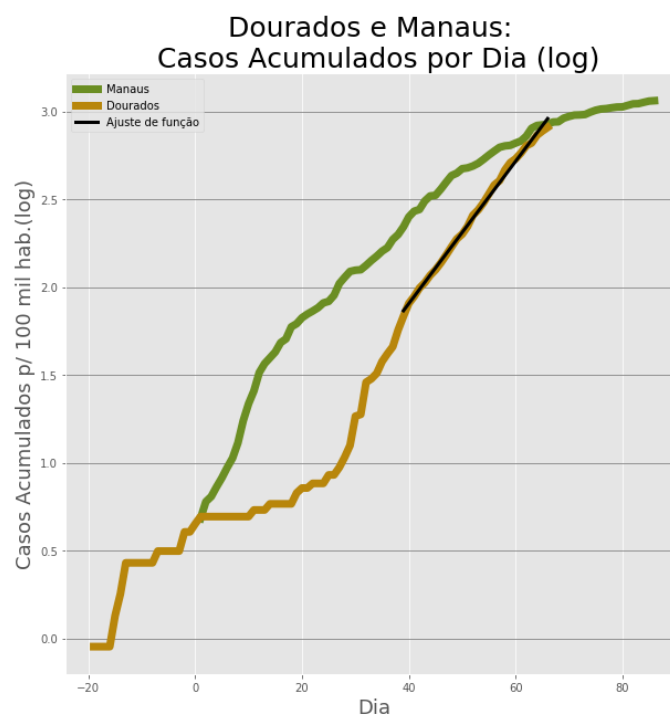


Figura 7. Curva do número de casos diagnosticados por 100 mil habitantes. Comparativo entre Dourados(MS) e Manaus(AM) em escala logarítmica (eixo y)

no mapa na data em que ele alcança a marca inicial do índice de casos por 100 mil habitantes da cidade de Manaus. O Amazonas foi um dos primeiros estados a registrar casos

da doença e a evolução até a marca que aparece no primeiro registro não foi registrado, ao menos não pela base de dados utilizada nesta análise.

No começo da série temporal a cidade de Manaus apresenta uma evolução mais veloz que Dourados, Em determinado momento, a curva da capital do Amazonas se arrefece e a de Dourados começa a apresentar velocidade crescente.

Na Figura 7 é possível notar um trecho praticamente reto na evolução dos números de casos em dourados. Uma função de reta foi a partir do ponto de ordenada 1.8 do gráfico, escolhido por inspeção visual. O resultado é uma reta bem ajustada, com os parâmetros $0.04 \times x + 0.285$. Isso indica uma velocidade exponencial constante. O gráfico mostra que, pela primeira vez a evolução da curva em Dourados pode ultrapassar a registrada em Manaus.

Com a curva ajustada por esses critérios, a data inicial deste comportamento exponencial é o dia 25/05/2020. Em uma primeira análise chama a atenção o fato desta data estar quinze dias distante de uma das principais datas comerciais e de reuniões familiares do país, o dia das mães comemorou-se em 10/05 no ano de 2020.

4. Modelo Preditivo

A busca de modelos matemáticos que pudessem ajudar a quantificar e estudar a evolução de epidemias não é um assunto novo. O primeiro modelo de sucesso data de 1927 (Kermack e McKendrick)[[Kermack and McKendrick 1927](#)]. Ao longo do tempo este modelo recebeu releituras e complementações que dão origem aos novos modelos aplicados em estudo de viroses e mais recentemente aplicados a previsões na pandemia de COVID-19.

Hoje temos duas linhas bem distintas de modelos matemáticos aplicados à epidemiologia, os modelos estocásticos e os modelos determinísticos. Os modelos estocásticos usam regressões e séries temporais e as previsões são feitas com base em distribuições estatísticas. Um exemplo dessa classe é o modelo do grupo do *Imperial College COVID-19 Response Team*[[Thomas A Mellan 2020](#)]. O modelo DELPHI[[Michael Lingzhi Li 2020](#)] se encaixa na classe dos modelos determinísticos, onde um conjunto de equações diferenciais é integrado num problema de valor de contorno[[DiPrima 2008](#)].

O modelo DELPHI usa o conjunto de equações diferenciais conhecidas como *SEIRD* onde as variáveis são:

- S para suscetível,
- E para exposto,
- I para infectados,
- R para recuperados,
- D para óbitos.

Este conjunto é organizado da forma seguinte:

$$\begin{aligned}
\frac{dS}{dt} &= -\alpha\gamma(t)S(t)I(t) \\
\frac{dE}{dt} &= \alpha\gamma(t)S(t)I(t) \\
\frac{dI}{dt} &= r_i E(t) - r_d I(t) \\
\frac{dAR}{dt} &= r_d(1 - p_{dth})(1 - p_d)I(t) - r_{ri}AR(t) \\
\frac{dDHR}{dt} &= r_d(1 - p_{dth})p_d p_h I(t) - r_{rh}DHR(t) \\
\frac{dDQR}{dt} &= r_d(1 - p_{dth})p_d(1 - p_h)I(t) - r_{ri}DQR(t) \\
\frac{dAD}{dt} &= r_d p_{dth}(1 - p_d)I(t) - r_{dth}AD(t) \\
\frac{dDHD}{dt} &= r_d p_{dth} p_{dph} I(t) - r_{dth}DHD(t) \\
\frac{dDQD}{dt} &= r_d p_{dth} p_d(1 - p_h)I(t) - r_{dth}DQD(t) \\
\frac{dTH}{dt} &= r_d p_d p_h I(t) \\
\frac{dDD}{dt} &= r_{dth}(DHD(t) + DQD(t)) \\
\frac{dDT}{dt} &= r_d p_d I(t) \\
\frac{dR}{dt} &= r_{ri}(AR(t) + DQR(t)) + r_{rh}DHR(t) \\
\frac{dD}{dt} &= r_{dth}(AD(t) + DQD(t) + DHD(t)).
\end{aligned}$$

Além das variáveis *SEIRD* tradicionais descritas acima, o modelo apresenta o detalhamento

- Não detectados (*AR*) & (*AD*): pessoas infectadas e em auto quarentena em casa devido a efeitos da doença. São variáveis para tratar caso não detectados. De alguma maneira as pessoas se recuperam (*AR*) e algumas morrem (*AD*).
- Detectados, Hospitalizados (*DHR*) & (*DHD*): pessoas infectadas e testadas que necessitaram de hospitalização. Novamente a terminação R para recuperados e D para mortos.
- Detectados, em quarentena (*DQR*) & (*DQD*): pessoas infectadas e em quarentena em casa. Segue a designação de R e D.

A primeira equação do conjunto representa que a variação do número de pessoas suscetíveis ao longo do tempo cai (sinal negativo) com a taxa de infecção α a função auxiliar γ e o contato entre os suscetíveis S e os infectados I . Da mesma forma a segunda equação representa que o número de expostos aumenta com o contato entre os suscetíveis S e os infectados I . Para a equação dos infectados, a terceira, temos que seu número aumenta com o tempo na taxa r_i com a qual os expostos E se tornam doentes, e cai com a

taxa r_d . Assim cada uma das equações seguintes representam como cada variável aumenta com a sua respectiva taxa de variação. Na última equação o total de óbitos é a soma dos possíveis caminhos previstos no modelo.

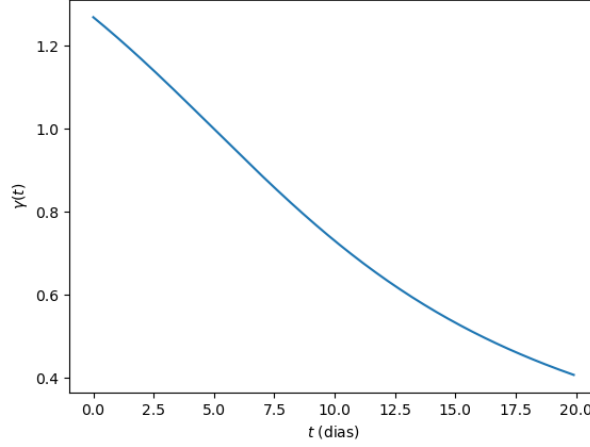


Figura 8. Formato típico da função $\gamma(t)$, aqui para os parâmetros $a = 20$ e $b = 5$. No processo de previsão estes números são ajustados.

Os parâmetros do modelo são:

- α taxa de infecção (ajustado).
- $\gamma(t)$ medidas governamentais e respostas:

$$\gamma(t) = \frac{2}{\pi} \arctan \left(\frac{-(t - a)}{b} \right) + 1$$

usando os a and b , é possível modelar o tempo de duração dos ajustes como restrição de comércio, distanciamento social, etc. Os parâmetros a e b são ajustados.

- r_d é a taxa de detecção. $r_d = \frac{\log 2}{T_d}$, onde T_d é a mediana do tempo para detecção (suposto ser 2 dias). Parâmetro fixo.
- r_i é a taxa de infecção deixando o tempo de incubação. $r_i = \frac{\log 2}{T_i}$ onde T_i é o tempo mediano para deixar o período de incubação (suposto ser 5 dias). Parâmetro fixo.
- r_{ri} é taxa de recuperação fora da hospitalização. $r_{ri} = \frac{\log 2}{T_{ri}}$, onde T_{ri} é a mediana do tempo de recuperação dos casos não hospitalizados (suposto ser 10 dias). Parâmetro fixo.
- r_{rh} é taxa de recuperação sob hospitalização. $r_{rh} = \frac{\log 2}{T_{rh}}$ where T_{rh} , é a mediana do tempo de recuperação dos casos hospitalizados (suposto ser 15 dias). Parâmetro fixo.
- r_{dth} é a taxa de morte. $r_{dth} = \frac{\log 2}{T_{dth}}$, onde T_{dth} é o tempo de espera do paciente até a morte Parâmetro ajustado aos dados históricos.
- p_{dth} é a taxa de mortalidade. Parâmetro ajustado diretamente das curvas de óbitos.
- p_d é a porcentagem de casos detectados. Este valor é fixo em 0.2. Isto significa que para cada caso conhecido há 5 casos não detectados.
- p_h é a porcentagem de detectados hospitalizados. Também é constante.

Antes de passarmos para as previsões do modelo é importante entender a ação da função $\gamma(t)$ na modelagem. A interpretação correta dos resultados depende deste entendimento.

Na lista acima há parâmetros fixos e parâmetros ajustados. Os parâmetros fixos são aqueles que estão ligados à natureza humana, como tempo de incubação por exemplo, e não dependem de condições regionais. Os parâmetros ajustados são aqueles que vão carregar para o modelo as peculiaridades de cada população. O ajuste é feito com base nas curvas de óbitos acumulados (com peso maior) e nas curvas casos acumulados. O modelo considera o período a partir do centésimo caso acumulado detectado até a última atualização. O ajuste dos parâmetros é feito de forma a minimizar o quadrado da diferença entre a previsão e os casos reais. Os dados aqui usados são do Ministério da Saúde do Brasil [min 2020].

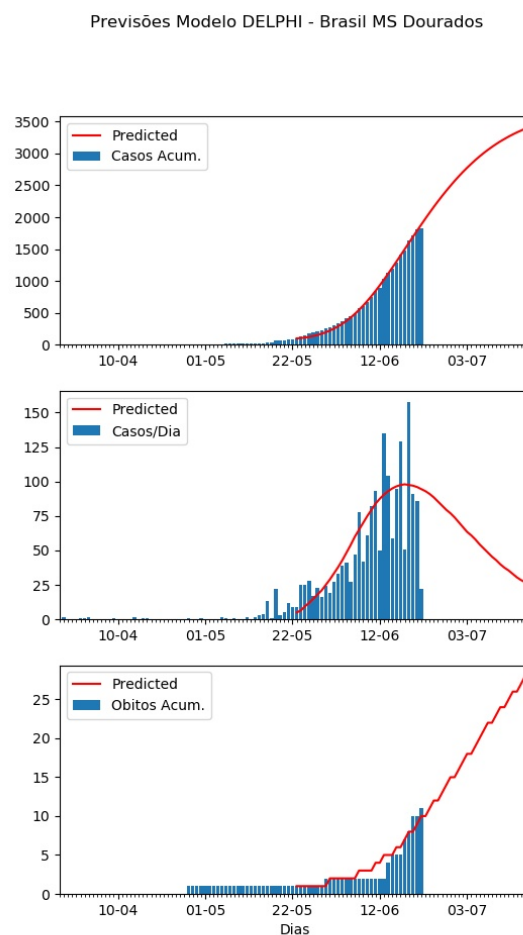


Figura 9. De cima para baixo, (1) em barra azuis o número total de casos acumulados segundo o Ministério da Saúde para a cidade de Dourados (MS), e em vermelho a curva de previsão do modelo DELPHI com previsão para 25 dias. (2) O mesmo para o número de casos diários. (3) Em barras azuis o número de óbitos acumulados e em vermelho a previsão.

Observando a figura (8) vemos que a função $\gamma(t)$ é sempre decrescente. Este

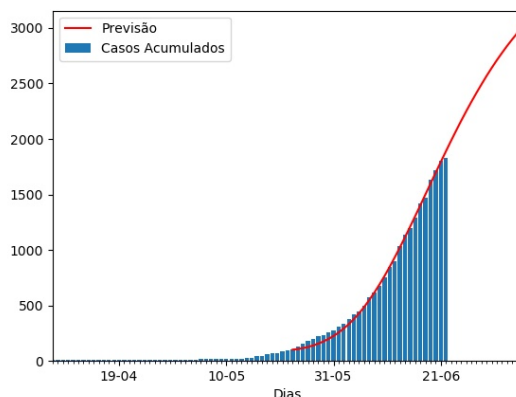


Figura 10. Primeiro gráfico da figura 9 aumentado e com projeção para duas semanas. Barras azuis são casos acumulados e curva vermelha previsão DELPHI.

fato captura o comportamento típico de uma epidemia viral onde a taxa de reprodução da doença normalmente cai com o número de infectados se tornando imunes ao longo do tempo, mas ela não é perfeita para a COVID-19. A adoção medidas de isolamento social de fato contribui para a diminuição da taxa de reprodução e a função γ como está é perfeita, porém a saída precoce do isolamento social pode fazer a taxa de reprodução voltar a crescer, a neste caso a função necessita de ajuste, ou as previsões ficariam com tendência otimista. No modelo original o grupo responsável pelo seu desenvolvimento acrescentou um módulo contando com as políticas adotadas em cada localidade. Esta implantação é restrita aos EUA, e não se aplica ao Brasil. Está em andamento um trabalho ainda inconcluso de adaptação desta estrutura de cálculo para o Brasil. Então as previsões aqui apresentadas podem ter um viés otimista.

A projeção (figura 9) é ainda para um aumento tanto no número de casos novos como no número de óbitos nos próximos dias. No ajuste dos parâmetros o modelo usa todos os dados do período a partir do dia do centésimo caso. Então esta projeção é um apanhado de todo que aconteceu anteriormente até o dia de hoje, o maior ou menor isolamento social e efeitos de outras medidas ficam embutidos nos parâmetros. O ajuste para Dourados ficou bem próximo dos casos reais, e para um período de dias à frente é uma boa previsão. O modelo permite previsões por quantos dias quisermos. Aqui foi escolhido 25 dias para dar uma ideia do que acontece se nada mudar. Se o isolamento social for quebrado antes do tempo correto o números reais seguirão acima da previsão. Se, por outro lado, medidas de contenção da pandemia como isolamento, uso de máscaras, etc forem bem aplicados, os números reais estarão abaixo da previsão.

Previsões para uma ou duas semanas são mais seguras por estarem mais próximo do conjunto de atitudes passadas. Na figura (10) a projeção é de aproximação dos 3 mil casos em duas semanas.

5. Conclusão

Segundo os dados analisados e a metodologia aplicada, nota-se uma importância do município de Dourados, tanto do ponto de vista dos casos absolutos, quanto do ponto de vista dos casos relativos, quanto da centralidade espacial em relação à outros mu-

nicípios que apresentam números importantes para serem levados em conta no planejamento das estratégias de combate ao vírus.

A comparação com a curva de Manaus não indica necessariamente a reprodução do mesmo cenário. Diversos fatores devem ser levados em conta como a capacidade do sistema de saúde do local, o volume de testes realizados, a população do entorno, os demais centros urbanos que podem apoiar estes municípios, dentre outras informações que não constam no conjunto de dados analisados.

Em futuros trabalhos seria importante entender a relação entre os municípios da região, o trânsito de pessoas, os deslocamentos e as políticas de distanciamento implementadas na região.

Resta afirmar que o enfrentamento desta crise terá maior grau de sucesso caso as particularidades de cada região sejam devidamente avaliadas e, pelo estudo realizado, o município de Dourados apresenta uma relevância regional e estadual que não deve ser menosprezada.

Referências

- [min 2020] (2020). Portal coronavírus brasil. <https://covid.saude.gov.br/>.
- [DiPrima 2008] DiPrima, R. (2008). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*. Wiley.
- [Kermack and McKendrick 1927] Kermack, W. O. and McKendrick (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115(772):700–721.
- [Michael Lingzhi Li 2020] Michael Lingzhi Li, e. a. (2020). Overview of delphi model v2.8 - covidanalytics. *Open Report*.
- [Thomas A Mellan 2020] Thomas A Mellan, e. a. (2020). Report 21: Estimating covid-19 cases and reproduction number in brazil. *Internal Report*.