

# Simulação Estocástica da Transmissão do COVID-19

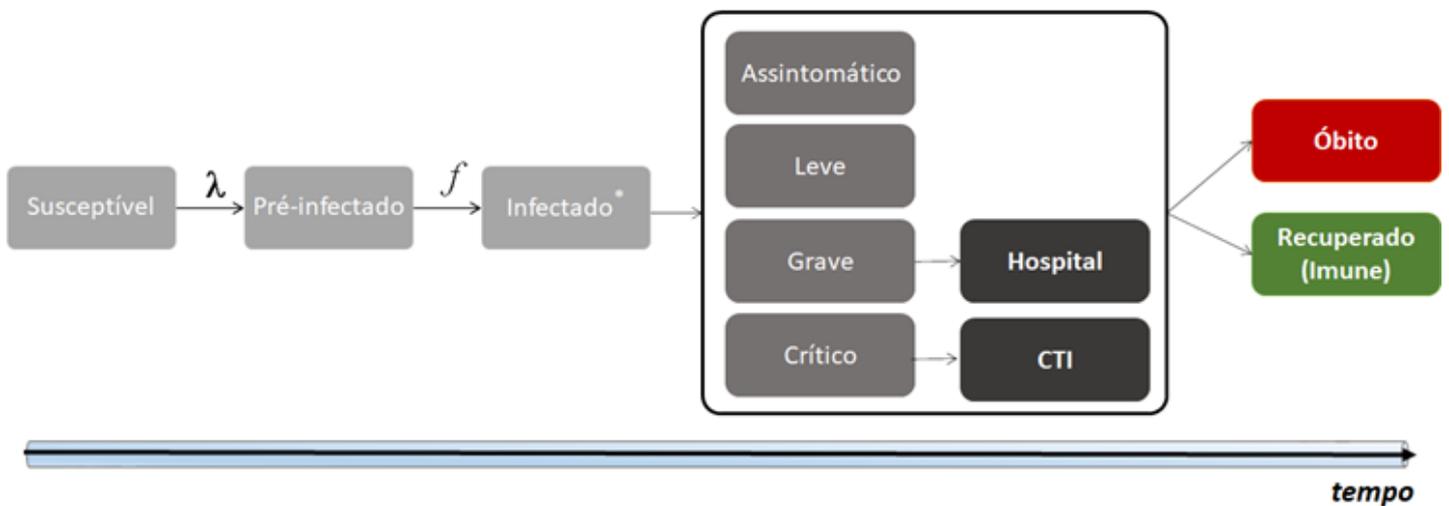
Carlos EF STARLING, MD, MSc; Bráulio RGM COUTO, Eng, PhD

Atualmente, não existe vacina para prevenir a infecção pelo novo Coronavírus (COVID-19). A única maneira de prevenir a infecção é evitar ser exposto a esse vírus. O objetivo deste estudo é apresentar uma simulação estocástica da transmissão e impactos, em termos de óbitos e necessidade de internação em CTI, em função da infecção pelo COVID-19.

## Metodologia

No processo de transmissão ao longo do tempo de agentes infecciosos como o COVID-19 (Figura 1), um grupo de susceptíveis no tempo  $t$  ( $S_t$ ) se transforma, através de uma força de infecção ( $\lambda$ ), em pré-infectados ( $E_t$ ) que, por meio de uma taxa de infectividade ( $f$ ) e após um período de incubação, se tornam infectados ( $I_t$ ). Para o cenário específico do COVID-19, os infectados, cujo número considerável é de infecções não registradas pelo sistema de saúde (LI et al., 2020), podem desenvolver formas assintomáticas, leves, graves ou críticas (WU; MCGOOGAN, 2020). Em função da letalidade e da taxa de recuperação, parte dos infectados se recuperará e um grupo irá evoluir para óbito.

Figura 1 – Processo de transmissão do COVID-19 ao longo do tempo.



\* Número considerável de casos são infecções não documentadas (LI et al., 2020).

A taxa de transmissibilidade por unidade de tempo ( $f$ ) pode ser estimada considerando o tempo médio do período de incubação:

$$f = \frac{1}{D}$$

Onde:  $\left\{ \begin{array}{l} f = \text{taxa de infectividade.} \\ D = \text{tempo médio de incubação (dias).} \end{array} \right.$

A força de infecção em cada unidade de tempo ( $\lambda_t$ ) pode ser calculada com base na taxa per capita em que dois indivíduos entram em contato eficaz entre os tempos  $t$  e  $t + 1$ . No contato eficaz há grande probabilidade do paciente infectado e o susceptível propiciarem a transmissão do agente infeccioso. É o contato entre a fonte, representado pelo paciente já infectado, e o susceptível, o indivíduo apto a hospedar o vírus, durante determinado período para que ocorra a transmissão:

$$\lambda_t = \beta \times I_t$$

Onde:  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda_t = \text{força de infecção no tempo } t. \\ \beta = \text{taxa per capita em que dois indivíduos entram em contato eficaz entre os tempos } t \text{ e } t + 1. \end{array} \right.$

Já a taxa per capita em que dois indivíduos entram em contato eficaz ( $\beta$ ) pode ser estimada por:

$$\beta = \frac{ecr}{N}$$

Onde:  $\left\{ \begin{array}{l} \beta = \text{taxa per capita em que dois indivíduos entram em contato eficaz entre os tempos } t \text{ e } t + 1. \\ N = \text{total de susceptíveis.} \\ ecr = \text{número de contatos efetivos de cada pessoa no tempo } t. \end{array} \right.$

No cenário atual, a questão chave é **controlar a taxa de contato entre indivíduos**, especificamente, entre pacientes infectados e outros indivíduos. Os parâmetros do modelo utilizado nesta simulação (Tabela 1) baseiam-se em dados do surto na cidade chinesa de Wuhan (WU; MCGOOGAN, 2020) e em modelo similar ao usado por DALBEN e col. (2016). O tempo de incubação (3,7 dias) foi obtido de LI et al. (2020).

**Tabela 1 – Principais parâmetros do modelo de simulação.**

<b>Parâmetros do modelo</b>	<b>Valores</b>
Tempo escolhido (dias)	1
Tamanho da população	N
Tempo médio do período de incubação do COVID-19 (dias)	3,7
Tempo médio de duração do período de transmissibilidade (dias)	5,6
$R_0$	5,0
Casos graves (necessidade de CTI)	5%
Letalidade global do COVID-19	2,3%

Obs.: N = tamanho da população da região, cidade ou país sob simulação.

Em relação aos parâmetros da Tabela 1, dois deles foram obtidos por meio de validação do modelo de simulação, considerando dados de COVID-19 observados ao longo de 49 dias na Itália. Estas informações foram obtidas do repositório de dados da Johns Hopkins University ([https://raw.githubusercontent.com/CSSEGISandData/COVID-19/master/csse\\_covid\\_19\\_data/csse\\_covid\\_19\\_time\\_series/time\\_series\\_19-covid-Confirmed.csv](https://raw.githubusercontent.com/CSSEGISandData/COVID-19/master/csse_covid_19_data/csse_covid_19_time_series/time_series_19-covid-Confirmed.csv)).

Dados observados na Itália entre 31 de Janeiro e 19 de Março de 2020, foram comparados com dados estimados pelo modelo. Dois parâmetros do modelo “Tempo médio de duração do período de transmissibilidade (dias)” e  $R_0$  foram definidos por meio de modelo de otimização que minimizou o erro na estimativa do modelo em relação aos dados observados na Itália. Na verdade, o SOLVER do do Microsoft® Excel foi usado para minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (Z), entre os valores observados e valores estimados dia-a-dia de casos:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^D (I_i - \hat{I}_i)^2$$

Sujeito às seguintes restrições:

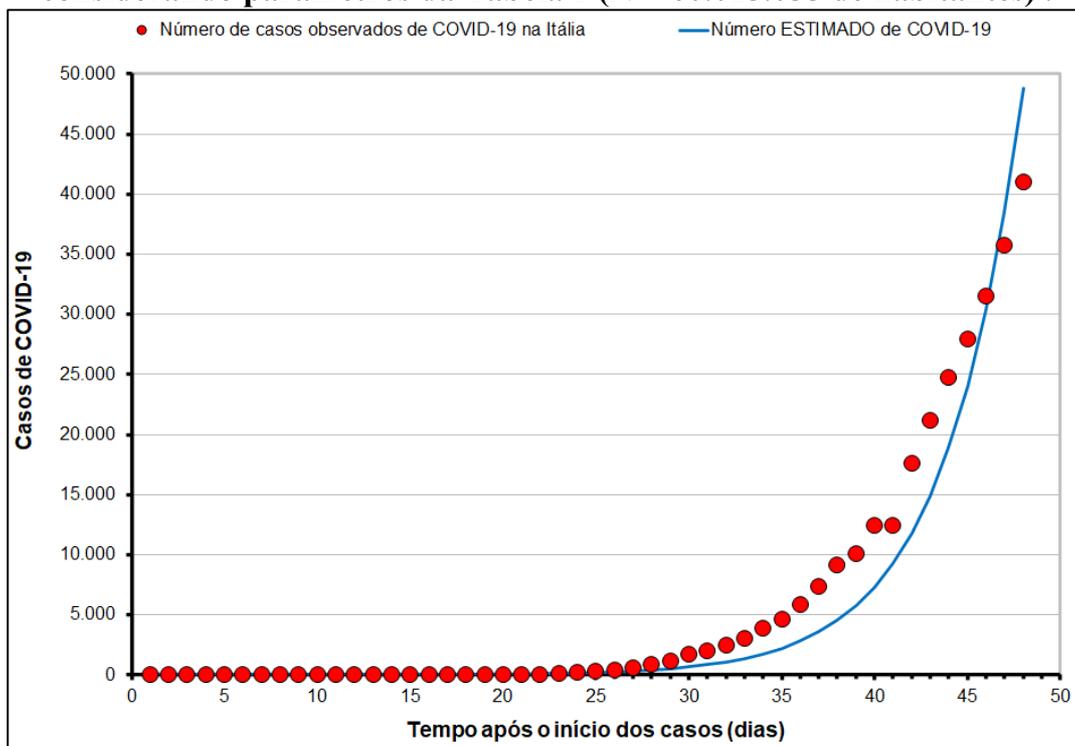
$$2 \leq R_0 \leq 5$$

$$1 \leq T \leq 14$$

Onde:  $I_i$  = número de casos efetivamente observados na Itália, no dia  $i$ .  
 $\hat{I}_i$  = número de casos estimados pelo modelo no dia  $i$ .  
 $T$  = Tempo médio de duração do período de transmissibilidade (dias).

No processo de otimização que minimizou o erro do modelo em relação aos dados da Itália, os valores “ótimos” para o “Tempo médio de duração do período de transmissibilidade” é 5,6 dias, com  $R_0 = 5,0$ . Usando estes parâmetros no modelo tem-se uma boa aproximação entre casos reais e casos estimados (Figura 1).

**Figura 1 – Comparação entre dados observados na Itália e dados estimados pelo modelo, considerando parâmetros da Tabela 1 (N = 60.015.055 de habitantes) .**

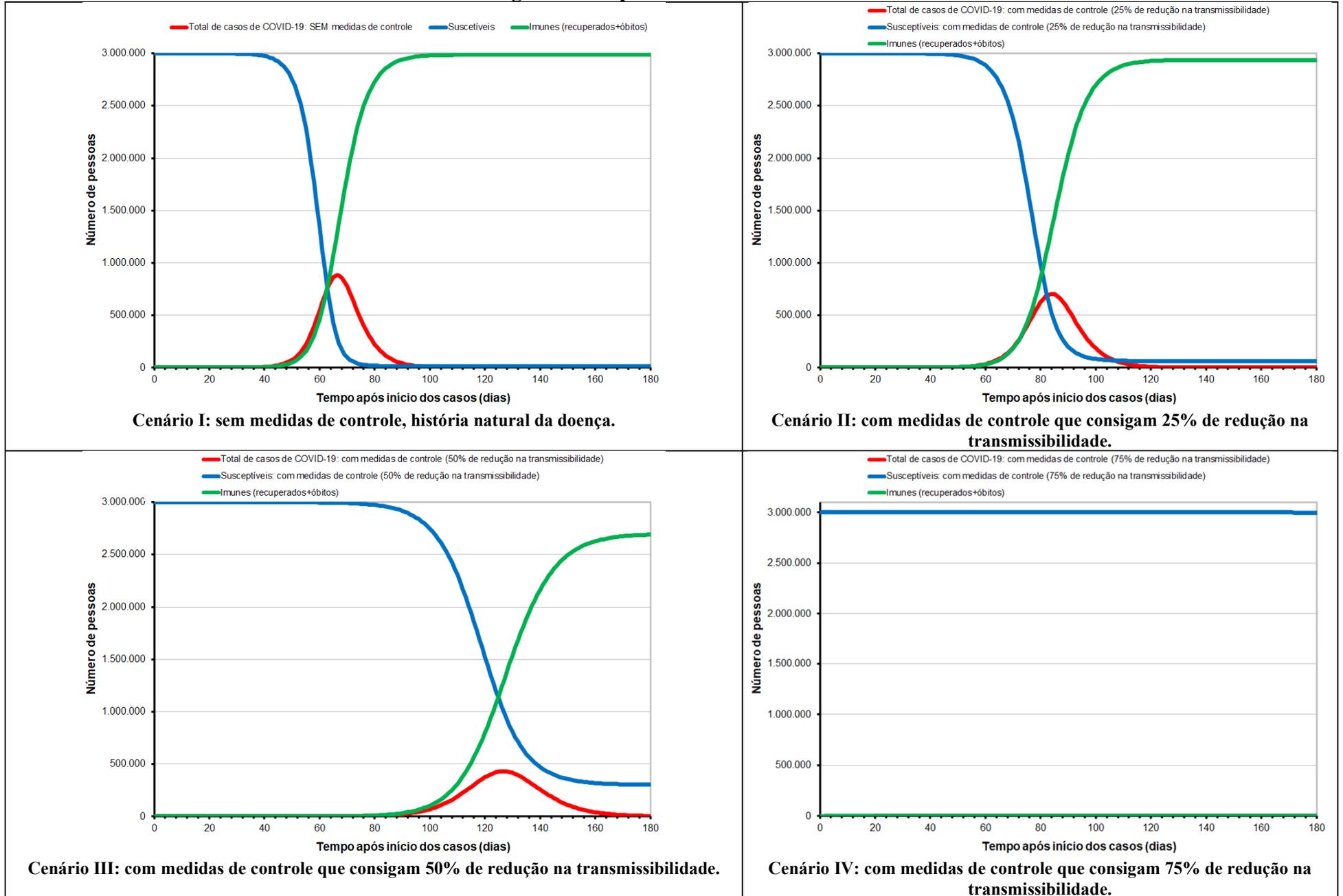


Obs.: população da Itália obtida em <https://countrysmeters.info/pt/Italy> <acesso em 20/03/2020>.

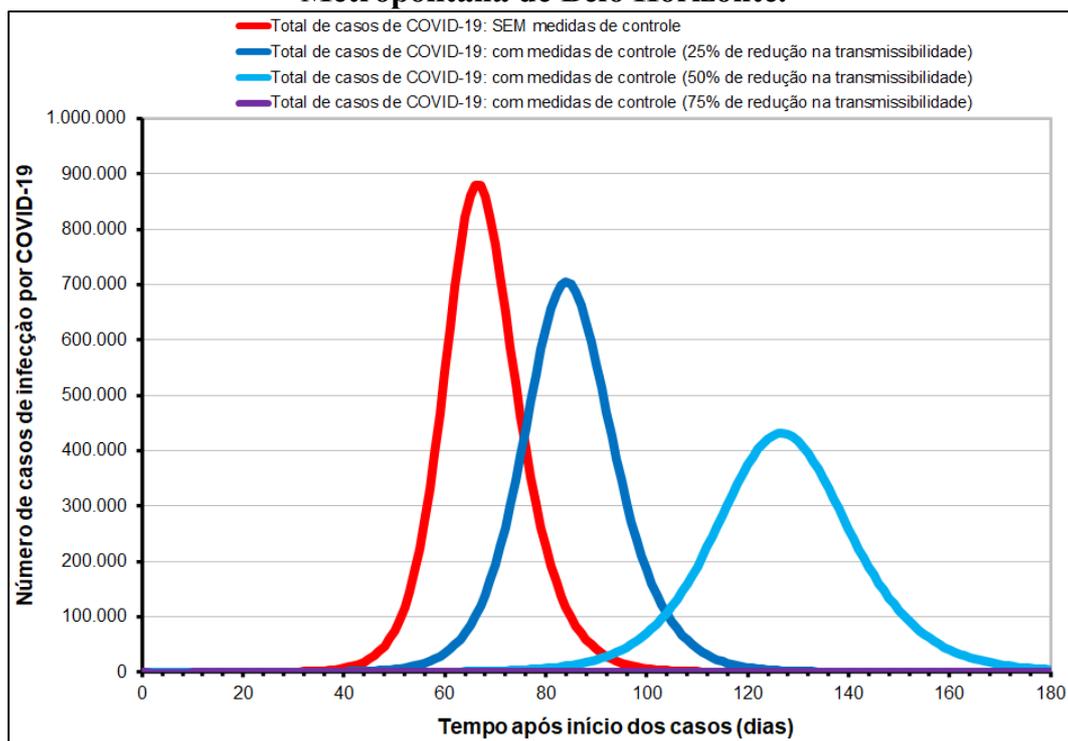
## **Resultados**

Os resultados nos gráficos das Figuras 2 a 5 e as Tabelas 2 e 3 foram obtidos para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, considerando uma população de três milhões de pessoas e os parâmetros da Tabela 1. Três cenários de efetividade de medidas de prevenção foram simulados: redução de 25%, 50% e 75% na taxa de transmissão do vírus.

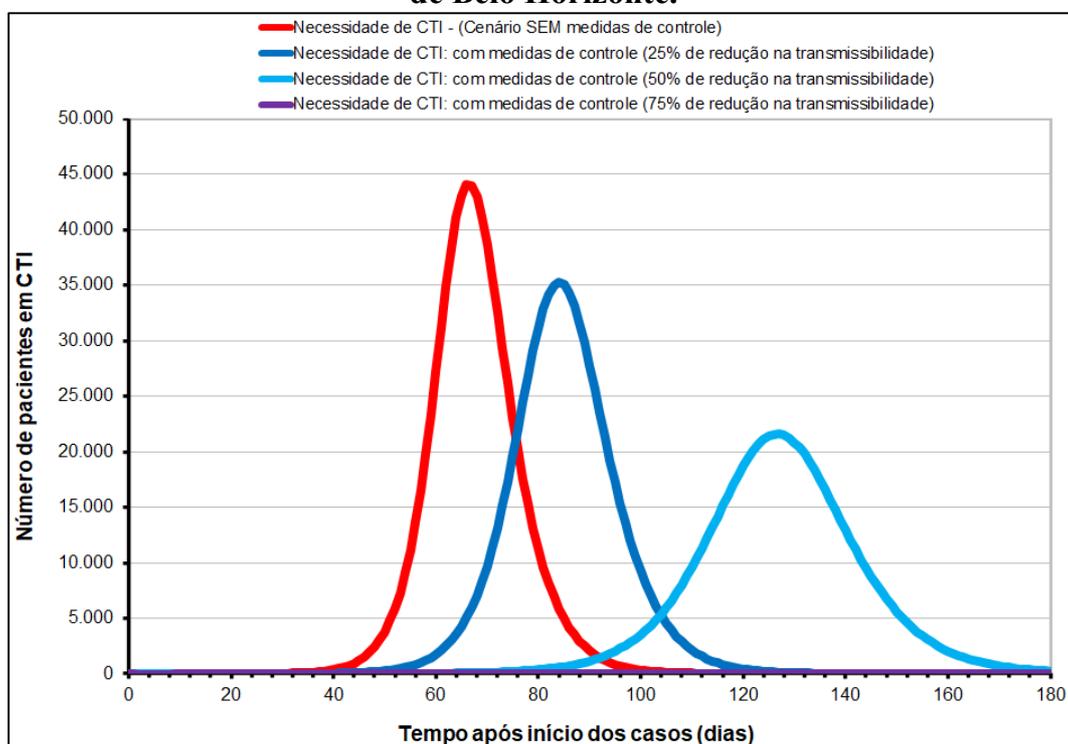
**Figura 2 – Simulação estocástica de casos ATIVOS de infecção por COVID-19, susceptíveis e pacientes imunes (recuperados+ óbitos) na Região Metropolitana de Belo Horizonte.**



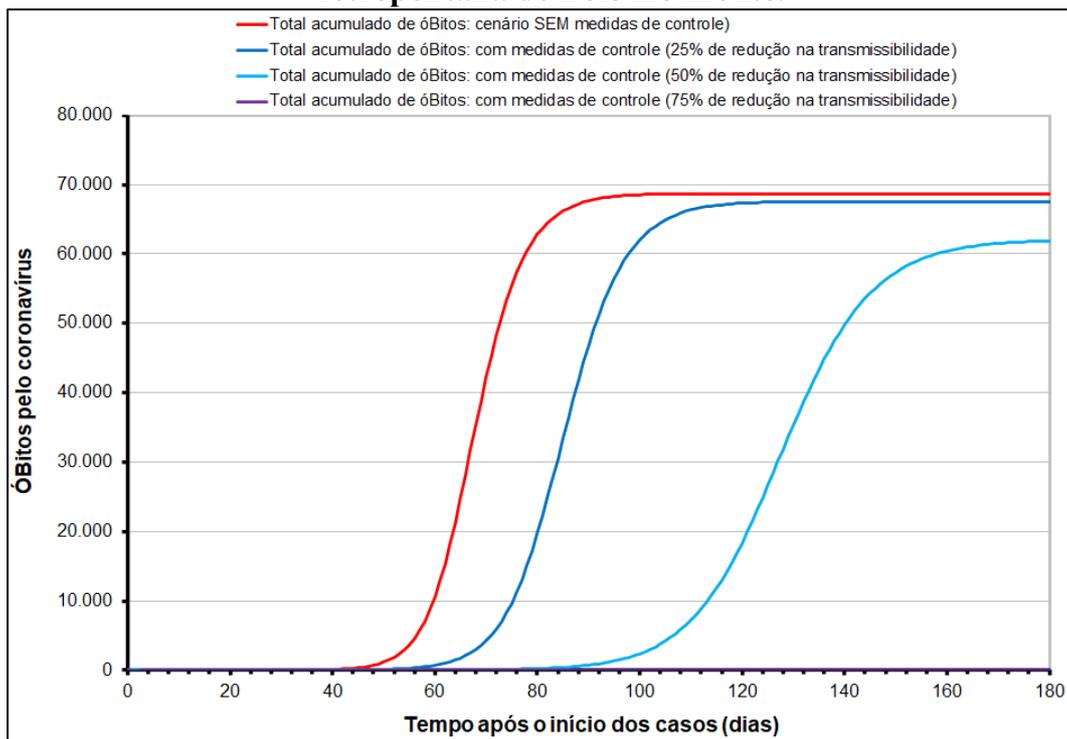
**Figura 3 – Simulação de casos de infecção ATIVA por COVID-19 dia-a-dia na Região Metropolitana de Belo Horizonte.**



**Figura 4 – Simulação do número de pacientes com necessidade de internação em Unidade de Terapia Intensiva em função de infecção ATIVA por COVID-19 dia-a-dia na Região Metropolitana de Belo Horizonte.**



**Figura 5 – Simulação do total ACUMULADO de óbitos causados pelo COVID-19 na Região Metropolitana de Belo Horizonte.**



**Tabela 2 – Total de casos ATIVOS de COVID-19 para cada cenário.**

Cenário	Total de casos de infecção ATIVA por COVID-19		
	30 dias	60 dias	90 dias
SEM medidas de controle	680	543.445	41.697
25% de redução na transmissibilidade	141	35.014	556.595
50% de redução na transmissibilidade	20	683	23.079
75% de redução na transmissibilidade	1	3	6

**Tabela 3 – Total acumulado de óbitos por COVID-19 estimados para cada cenário.**

Cenário	Total acumulado de óbitos por COVID-19		
	30 dias	60 dias	90 dias
SEM medidas de controle	10	10.567	67.676
25% de redução na transmissibilidade	3	715	46.826
50% de redução na transmissibilidade	1	22	762
75% de redução na transmissibilidade	0	0	1

## Conclusão

O estudo, baseado em modelagem e, mesmo sujeito a limitações, prevê um cenário epidemiológico complexo para os próximos meses tanto para a população quanto para o sistema de saúde, caso não sejam tomadas medidas agressivas de prevenção e contenção da epidemia.

Certamente, se as previsões deste estudo se confirmarem, teremos uma exaustão do sistema de atendimento tanto público quanto privado em cerca de 4 a 6 semanas. Este cenário pode ser alterado em função de medidas contingenciais de contenção e alterações nos parâmetros de transmissibilidade do vírus, além de medidas terapêuticas futuras.

**Os resultados da simulação mostram que o controle da epidemia somente será totalmente conseguido se se reduzir em pelo menos 75% a taxa de transmissão do vírus!!**

## Referências

- DalBen, M., Teixeira Mendes, E., Moura, M., Abdel Rahman, D., Peixoto, D., Alves dos Santos, S., Levin, A. (2016). **A Model-Based Strategy to Control the Spread of Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae: Simulate and Implement**. Infection Control & Hospital Epidemiology, 37(11), 1315-1322. doi:10.1017/ice.2016.168
- LI, Ruiyun; PEI, Sen; CHEN, Bin; SONG, Yimeng; ZHANG, Tao; YANG, Wan; SHAMAN, Jeffrey. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). Science, [s.l.], p.1-8, 16 mar. 2020. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.abb3221>.
- WU, Zunyou; MCGOOGAN, Jennifer M (2020). **Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China**. Jama, [s.l.], p.1-4, 24 fev. 2020. American Medical Association (AMA). <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2020.2648>