

Necessidade de leitos hospitalares para Covid-19 estimada por modelo epidemiológico SEIR adaptado para o município de Pelotas

Need for hospital beds for Covid-19 estimated by the epidemiological model SEIR adapted for the city of Pelotas

Thiago Santos¹, Bianca Cata-Preta¹, Luisa Echeverry¹, Anaclaudia Fassa¹,
Bruno Nunes¹, Inácio Silva¹, Tiago Collares¹, Régis Quadros¹,
Glênio Gonçalves¹, Tiago Gandra^{II}, Daniela Buske¹

¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

^{II} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rio Grande, RS, Brasil

RESUMO

Um dos desafios causados pela pandemia da covid-19 foi o provimento de leitos hospitalares para enfrentamento da doença e para evitar sobrecarga do sistema de saúde. Este artigo tem como objetivo apresentar a plataforma de projeção de leitos hospitalares desenhada para auxiliar a prefeitura do município de Pelotas, Rio Grande do Sul, a definir o número máximo de leitos de UTI necessário no pico da epidemia no município. Empregou-se o modelo epidemiológico SEIR adaptado com processo estocástico para os parâmetros da dinâmica de transmissão. A plataforma foi construída dentro de uma Aplicação Shiny e permite ao usuário ajustar todos os parâmetros utilizados no modelo. No início de abril de 2020, estimou-se a necessidade de 100 leitos de UTI no pico da epidemia em Pelotas. Tanto os parâmetros do modelo quanto as previsões foram constantemente atualizadas conforme o avanço da epidemia e do conhecimento científico sobre a doença. A plataforma foi uma das ferramentas utilizadas pela Equipe Científica do Comitê Interno para Acompanhamento da Evolução da Pandemia pelo Coronavírus da UFPel para tomada de decisões e divulgação de notas técnicas à imprensa.

Palavras-chave: Projeção de leitos hospitalares; covid-19; SEIR; Modelo estocástico

ABSTRACT

One of the challenges faced by the covid-19 pandemic was the provision of hospital beds to cope with the disease and to avoid overloading the health system. We aimed to present a projection platform for hospital beds, developed to help the municipality of Pelotas, in Rio Grande do Sul - Brazil, in establishing the maximum number of ICU beds needed at the peak of the epidemic in the city. The SEIR

epidemiological model adapted with a stochastic process was used for the parameters of the transmission dynamics. We relied on a Shiny Application to host the platform that allows the user to adjust all parameters used in the model. In early April 2020, we estimated 100 ICU beds will be needed at the peak of the epidemic in Pelotas. The platform, including the parameters used, was constantly updated as the epidemic and scientific knowledge about the disease progressed. The platform was one of the tools used by the Scientific Team of the Internal Committee for Monitoring the Evolution of the Coronavirus Pandemic at UFPel for decision-making and dissemination of technical notes to the press.

Keywords: ICU hospital beds; covid-19; SEIR; Stochastic process

1 INTRODUÇÃO

A pandemia da covid-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2 afetou mais de 200 países no mundo até metade de julho de 2021, sendo reportados 190.561.846 casos de pessoas infectadas e 4.095.470 mortes por covid-19 (WORLDMETER, 2021).

A emergência sanitária causada pela pandemia trouxe consigo diversos desafios. Dentre eles, destacam-se o achatamento da curva epidêmica e o gerenciamento e alocação de recursos que permitam adequado enfrentamento da doença. Nesse sentido, a necessidade projetar possíveis cursos da pandemia em diferentes contextos e delimitações geográficas trouxe consigo o desenvolvimento e utilização de modelos preditivos que permitissem descrever a dinâmica e evolução da doença no tempo (JEWELL, LEWNARD *et al.*, 2020). Diversos modelos têm sido implementados com o intuito de apoiar a tomada de decisão, o planejamento e a formulação de políticas para enfrentamento da pandemia (EKER, 2020). Esses modelos preditivos têm se mostrado úteis em estimar o número de casos e mortes por covid-19, assim como a demanda de serviços e recursos hospitalares necessários (RAINISCH, UNDURRAGA *et al.*, 2020).

O objetivo deste artigo é apresentar a plataforma de projeção de leitos hospitalares construída como uma das ferramentas utilizadas pela equipe científica do Comitê Interno para Acompanhamento da Evolução da Pandemia pelo Coronavírus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) para auxiliar a prefeitura

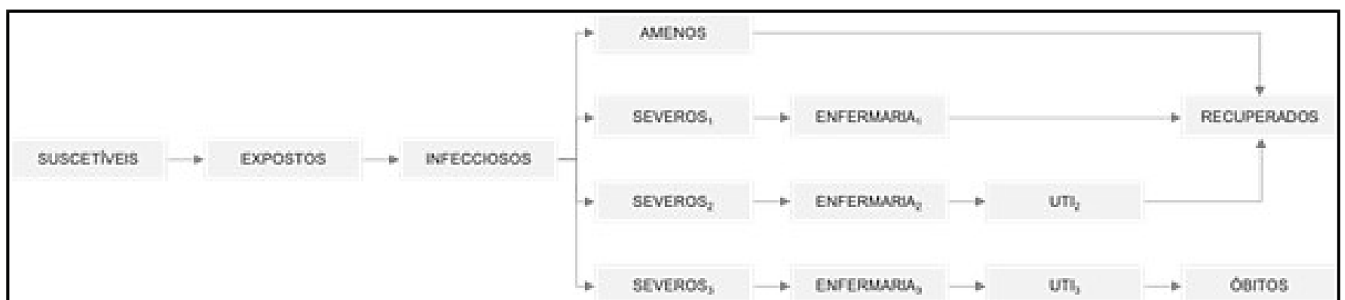
de Pelotas na tomada de decisão sobre expansão de leitos clínicos e de unidade de terapia intensiva (UTI) para o enfrentamento da covid-19.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Pelotas fica localizado na região sul do Brasil e possui aproximadamente 343 mil habitantes e uma densidade demográfica de 203,9 hab/km² (IBGE, 2020).

O modelo utilizado nas previsões é uma versão adaptada do modelo epidemiológico SEIR (**S**uscetível, **E**xposto, **I**nfeccioso e **R**ecuperado), um modelo compartimental usado para simular o avanço de uma doença infectocontagiosa como a covid-19 (Figura 1).

Figura 1 – Representação gráfica do modelo



Fonte: Autores, 2021

As caixas representam os compartimentos nos quais cada indivíduo é alocado ao longo dos estágios de desenvolvimento da doença. A Tabela 1 apresenta a definição adotada para cada compartimento do modelo.

Quadro 1 – Definições adotadas para cada compartimento do modelo

Compartimento	Definição
Suscetíveis	Indivíduos sujeitos à infecção pelo vírus, mas que ainda não foram infectados
Expostos	Indivíduos infectados pelo vírus, mas que ainda não são capazes de transmiti-lo

Quadro 1 – Conclusão

Compartimento	Definição
Infecciosos	Indivíduos capazes de transmitir o vírus que ainda não entraram em isolamento
Amenos	Indivíduos que apresentam sintomas leves da doença que não requerem hospitalização, mas já se encontram isolados e são incapazes de transmitir o vírus
Severos	Indivíduos com sintomas da doença que requerem hospitalização, mas ainda não foram hospitalizados. Já se encontram isolados e são incapazes de transmitir o vírus
Enfermaria	Indivíduos internados em enfermaria e que são incapazes de transmitir o vírus
UTI	Indivíduos internados em UTI e que são incapazes de transmitir o vírus
Recuperados	Indivíduos que se recuperaram dos sintomas amenos ou que receberam alta hospitalar (via enfermaria ou UTI)
Óbitos	Indivíduos internados em UTI que foram a óbito

Fonte: Autores, 2021

As premissas adotadas para o modelo foram: a) toda população é igualmente suscetível à doença; b) os indivíduos só passam por cada compartimento uma única vez, isto é, o modelo assume que uma pessoa não pode ser infectada mais de uma vez; c) após o período infeccioso, os indivíduos são isolados (em casa ou no hospital) e não são capazes de infectar outras pessoas.

O modelo utilizado é baseado na solução de uma série de equações diferenciais ordinárias descritas no sistema de equações (1). O modelo assume que todas as pessoas que buscam atendimento no serviço de saúde conseguem ser atendidas. Adotou-se um processo determinístico para os parâmetros da dinâmica clínica (tempo desde os sintomas até internamento, tempo de internamento e recuperação, taxa de hospitalização e de internação em unidade de terapia intensiva) e um processo estocástico para os parâmetros da dinâmica de transmissão (período infeccioso, período de incubação e número básico e efetivo de reprodução – R_0 e R_t). Para cada iteração, o modelo seleciona aleatoriamente valores para as variáveis de acordo com suas distribuições e uma solução do sistema de equações é calculada. Ao final da modelagem, uma distribuição de soluções é estabelecida e sumários são apresentados (distribuição mediana, média,

faixa que contém 50% dos cenários válidos e outra que contém 95% dos cenários válidos).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dSuscetíveis}{dt} = - \frac{Suscetíveis}{População\ total} \frac{R_0 Infeciosos}{T_{inf}} \\
 \frac{dExpostos}{dt} = \frac{Suscetíveis}{População\ total} \frac{R_0 Infeciosos}{T_{inf}} - \frac{Expostos}{T_{inc}} \\
 \frac{dInfeciosos}{dt} = \frac{Expostos}{T_{inc}} - \frac{Infeciosos}{T_{inf}} \\
 \frac{dAmenos}{dt} = (1 - \%_{hosp}) \frac{Infeciosos}{T_{inf}} - \frac{Amenos}{T_{rec}} \\
 \frac{dSeveros_1}{dt} = \%_{hosp} (1 - \%_{UTI}) \frac{Infeciosos}{T_{inf}} - \frac{Severos_1}{T_{int}} \\
 \frac{dSeveros_2}{dt} = (\%_{hosp} \%_{UTI} - letalidade) \frac{Infeciosos}{T_{inf}} - \frac{Severos_2}{T_{int}} \\
 \frac{dSeveros_3}{dt} = letalidade \frac{Infeciosos}{T_{inf}} - \frac{Severos_3}{T_{int}} \\
 \frac{dEnfermaria_1}{dt} = \frac{Severos_1}{T_{int}} - \frac{Enfermaria_1}{T_{alta}} \\
 \frac{dEnfermaria_2}{dt} = \frac{Severos_2}{T_{int}} - \frac{Enfermaria_2}{T_{UTI}} \\
 \frac{dEnfermaria_3}{dt} = \frac{Severos_3}{T_{int}} - \frac{Enfermaria_3}{T_{UTI}} \\
 \frac{dUTI_2}{dt} = \frac{Enfermaria_2}{T_{UTI}} - \frac{UTI_2}{T_{alta, UTI}} \\
 \frac{dUTI_3}{dt} = \frac{Enfermaria_3}{T_{UTI}} - \frac{UTI_3}{T_{óbito}} \\
 \frac{dRecuperados}{dt} = \frac{Amenos}{T_{rec}} + \frac{Enfermaria_1}{T_{alta}} + \frac{UTI_2}{T_{alta, UTI}} \\
 \frac{dÓbitos}{dt} = \frac{UTI_3}{T_{óbito}}
 \end{array} \right. \quad (1)$$

O modelo foi construído dentro de um *Shiny Application*, uma plataforma web desenvolvida em linguagem R que permite ao usuário a interação com o modelo e ajuste dos parâmetros e especificações de modelagem por meio de uma interface simplificada e acessível. A versão mais atual da plataforma utiliza o R versão 4.0.2 e está hospedada como um aplicativo da plataforma online shinyapps.io do RStudio (CHANG, CHENG et al., 2020).

Inicialmente, quando a epidemia ainda não estava em fase de transmissão comunitária nas cidades do RS, para as quais a plataforma foi desenhada, a escolha dos valores adotados para cada parâmetro foi definida com base na literatura

disponível sobre a covid-19. Os desvios padrão (DP) dos quatro parâmetros da dinâmica de transmissão utilizados foram calculados com base na dispersão destes parâmetros encontrada na literatura. Esses valores foram escolhidos como forma de expressar a incerteza na informação.

Com o avanço da epidemia, foi possível selecionar outros valores que melhor refletiam o cenário local. Esses valores, descritos na Tabela 2, ficaram como padrão na plataforma, embora pudessem ser ajustados pelo usuário de acordo com a dinâmica da epidemia em cada contexto de interesse. Detalhes sobre cada uma das variáveis podem ser encontradas na plataforma P2k (<https://dms-p2k.ufpel.edu.br/corona-leitos/>) (SANTOS, CATA-PRETA *et al.*, 2020).

Tabela 1 – Parâmetros utilizados no modelo

Parâmetro	Versão 1*	Versão 2	Versão 3
R0 sem distanciamento (R_0)	2,70	1,60 (DP = 0,87)	1,24 (DP = 0,40)
R0 com distanciamento (R_0)	1,36	1,10 (DP = 0,22)	1,24 (DP = 0,22)
Período de incubação (T_{inc})	5,2 dias	3,70 (DP = 1,02)	3,70 (DP = 1,02)
Período infeccioso (T_{inf})	2,9 dias	3,48 (DP = 3,78)	3,48 (DP = 3,78)
Tempo de recuperação (amenos) (T_{rec})	14 dias	14 dias	14 dias
Tempo até internação em enfermaria (T_{int})	5 dias	4 dias	4 dias
Tempo de permanência em enfermaria (T_{alta})	9 dias	12 dias	12 dias
Tempo até internação em UTI (T_{UTI})	11 dias	3 dias	3 dias
Tempo de permanência em UTI até alta ($T_{alta,UTI}$)	7 dias	13 dias	13 dias
Tempo de permanência em UTI até óbito ($T_{óbito}$)	8 dias	13 dias	13 dias
Taxa de hospitalização ($\%_{hosp}$)	2,00%	2,38%	2,38%
Taxa de internação em UTI ($\%_{UTI}$)	26%	30%	30%
Taxa de letalidade (letalidade)	0,20%	0,20%	0,20%

Fonte: Autores, 2021. Referências utilizadas para embasamento da escolha dos parâmetros encontram-se disponíveis na plataforma p2k: <https://dms-p2k.ufpel.edu.br/corona-leitos/referencia.html>

* A primeira versão do modelo foi baseada em processo determinístico e por este motivo não há valores de desvio padrão

O modelo simula o número de casos de covid-19 esperados na população, independente da testagem e sua identificação, e não o número de casos

confirmados. Portanto, as taxas de hospitalização e letalidade se referem aos casos reais e não aos casos confirmados.

A plataforma projeta a necessidade do número de leitos de enfermaria e UTI para cada dia do calendário dentro de um período de simulação determinado pelo usuário, a data do pico da epidemia e a população infectada em número absoluto e relativo. É possível fazer previsões levando em consideração a data em que havia 10 pessoas internadas no mesmo momento por covid-19 no município ou a prevalência da doença na população, utilizando dados do estudo Epicovid (HALLAL, BARROS et al., 2020), por exemplo.

A projeção de necessidade de leitos de UTI entregue para prefeitura de Pelotas foi estimada baseada na versão 1 dos parâmetros (Tabela 2). Os demais resultados apresentados neste artigo foram baseados na versão 3 dos parâmetros (Tabela 2), considerando que em 30 de junho de 2020 dez pessoas estavam internadas em Pelotas, com data final da previsão em 31 de dezembro de 2021 e 500 iterações por simulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

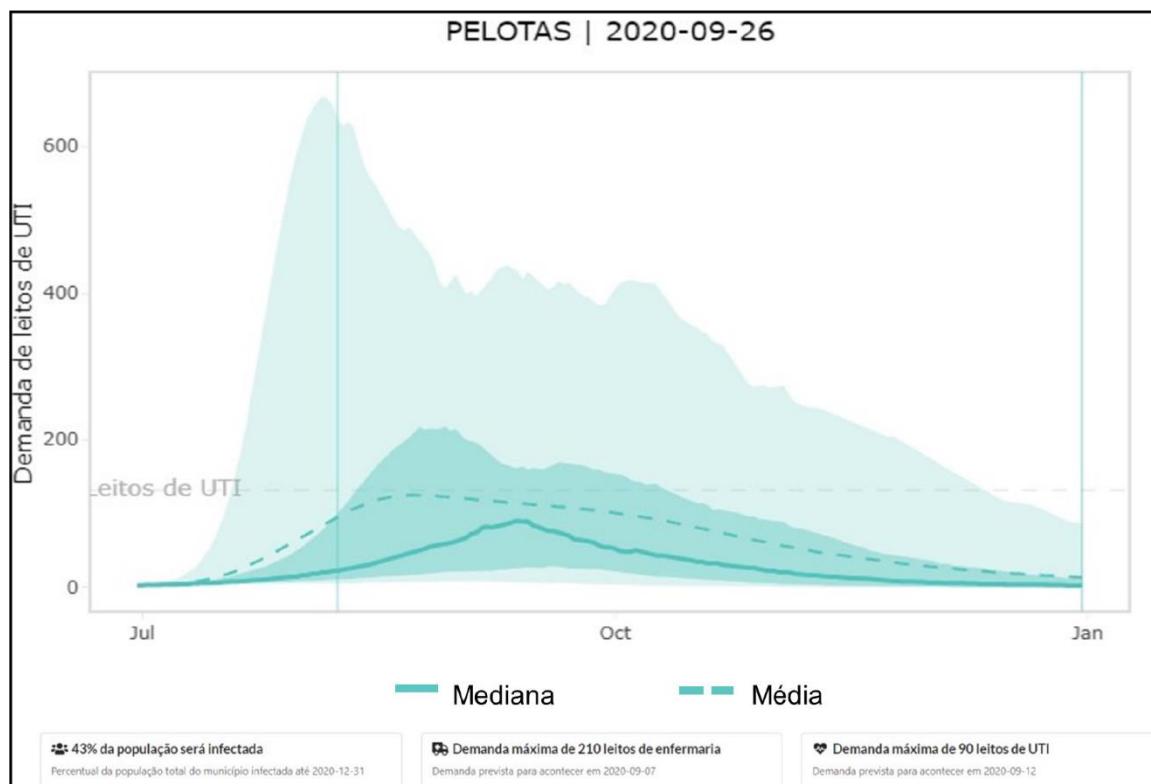
Na primeira semana de abril, utilizando a versão 1 dos parâmetros (Tabela 2), estimou-se que Pelotas necessitaria de 100 leitos de UTI no pico da epidemia de covid-19 caso o padrão de distanciamento social vigente se mantivesse. Este resultado foi divulgado por meio de nota técnica publicado no site da UFPel e em reunião com a prefeita de Pelotas e sua equipe.

Periodicamente, a equipe técnica divulgou notas com projeções de números de leitos de enfermaria e UTI necessários, adaptando os parâmetros do modelo conforme a disponibilidade de dados oficiais da doença e o conhecimento científico do momento.

A Figura 1 apresenta um dos *outputs* da plataforma: a curva de leitos de UTI e a projeção do número de leitos no pico da epidemia, utilizando a versão 3 dos

parâmetros (Tabela 2) como um exemplo de utilização da plataforma para a cidade de Pelotas.

Figura 2 – Projeção da demanda de leitos de UTI para a cidade de Pelotas



Fonte: Autores, 2021

Neste exemplo, projetou-se que até o final de 2020, 43% da população pelotense seria infectada pelo novo coronavírus e que as medianas do número máximo de leitos de enfermaria e UTI seriam, respectivamente, de 210 no dia 07 de setembro de 2020 e de 90 no dia 12 de setembro de 2020.

Ao todo, 40 leitos de UTI foram disponibilizados para tratamento de pacientes com covid-19 em Pelotas e após a sua ocupação total, os pacientes que atendiam aos critérios de internamento em UTI eram transferidos para outro município. Com isso, não é possível comparar o número máximo de internações em Pelotas com a demanda máxima projetada pela plataforma.

Todo modelo é uma simplificação da realidade e o modelo adotado neste trabalho tem algumas limitações. O modelo não estima o número de pessoas que

serão realmente hospitalizadas e sim a demanda de hospitalização. Na sua versão atual, ele assume que até a data em que havia 10 pessoas internadas por covid-19, não tinham sido aplicadas medidas de distanciamento social, o que pode não representar a realidade em todas as regiões.

Para além das limitações, este modelo foi útil para tomada de decisões mais informadas. Estimou-se a necessidade de leitos hospitalares para enfrentamento da covid-19 em fase inicial da epidemia, com escasso conhecimento sobre a doença e antes da fase de transmissão comunitária acontecer na cidade, o que tornou a projeção imprecisa, mas essencial para o momento. Possivelmente, o resultado da projeção serviu de meta para a adoção de medidas da gestão da cidade na busca por novos leitos hospitalares no enfrentamento da pandemia.

O modelo também serviu para subsidiar as decisões tomadas pelo Comitê Interno para Acompanhamento da Evolução da Pandemia pelo Coronavírus da UFPel na maioria das notas divulgadas pela imprensa que tratavam sobre a importância da manutenção do distanciamento social com objetivo de reduzir o número necessário de leitos hospitalares no pico da epidemia em Pelotas.

4 CONCLUSÃO

A plataforma de leitos hospitalares apresentada neste artigo mostra que, apesar das limitações, a implementação de modelos que permitam projetar o possível curso da pandemia é uma estratégia útil para auxiliar a tomada de decisões e gerenciamento de recursos necessários para seu enfrentamento, considerando o contexto do município.

Cabe salientar que o entendimento e enfrentamento da covid-19 continua sendo um grande desafio em nível mundial, o que demanda permanentes atualizações e modificações das estratégias implementadas para seu seguimento e controle, considerando sua evolução e as características próprias de cada local.

REFERÊNCIAS

CHANG, W., CHENG J., ALLAIRE J., XIE, Y., MCPHERSON, J.. (2020). **Shiny: Web Application Framework for R**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/shiny/index.html>. Acesso em: 4 de abr . 2020.

EKER, S. Validity and usefulness of COVID-19 models. *Humanities and Social Sciences Communications* 7(54), 2020.

HALLAL, P. C., BARROS, F. C., SILVEIRA, M. F., BARROS, A. J. D., DELLAGOSTIN, O. A., PELLANDA, L. C., STRUCHINER, C. J., BURATTINI, M. N., HARTWIG, F. P., MENEZES, A. M. B., HORTA, B. L., VICTORA, C. G. EPICOV19 protocol: repeated serological surveys on SARS-CoV-2 antibodies in Brazil. *Ciênc. saúde coletiva* 25(9), 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Pelotas. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/pelotas.html>. Acesso em: 4 de abr . 2020.

JEWELL, N. P., LEWNARD, J. A., JEWELL, B. L. **Predictive Mathematical Models of the COVID-19 Pandemic: Underlying Principles and Value of Projections**. *JAMA* 323(19): 1893-1894, 2020.

RAINISCH, G., UNDURRAGA, E. A., CHOWELL, G. **A dynamic modeling tool for estimating healthcare demand from the COVID19 epidemic and evaluating population- wide interventions**. *Int J Infect Dis* 96: 376-383, 2020.

SANTOS, T. M., CATA-PRETA, B. O., ARROYAVE, L., NUNES, B., CROCHEMORE, I., COLLARES, T., BUSKE, D., GONÇALVES, G., QUADROS, R., GANDRA, T., FASSA, A. G. COVID-19: Projeção de necessidade de leitos. Disponível em: <https://dms-p2k.ufpel.edu.br/corona-leitos/index.html>. Acesso em: 10 de jun. 2020.

WORLDOMETER. COVID-19 Coronavirus Update. Disponível em: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. Acesso em: 17 de ju. 2021.

Contribuições de autoria

1 – Thiago Melo Santos

Engenheiro químico, Doutorando em Epidemiologia

<https://orcid.org/0000-0002-4572-5297> • thiagomelosts@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Software; Análise formal; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de dados.

2 – Bianca Oliveira Cata-Preta

Doutoranda em Epidemiologia

<https://orcid.org/0000-0002-5632-7016> • bianca.catapreta@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Investigação; Primeira redação; Escrita – Revisão e edição; Visualização de dados.

3 – Luisa Fernanda Arroyave Echeverry

Doutoranda em Epidemiologia

<https://orcid.org/0000-0002-0642-898> • arroyave.lf@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Investigação; Escrita – Primeira Redação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados.

4 – Anaclaudia Gastal Fassa

Professora do Programa de Pós-graduação, Doutora em Epidemiologia

<https://orcid.org/0000-0001-6070-6214> • anaclaudia.fassa@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados; Supervisão.

5 – Bruno Pereira Nunes

Professor do Programa de Pós-graduação, Doutor em Epidemiologia

<https://orcid.org/0000-0002-4496-4122> • nunesbp@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados; Supervisão.

6 – Inácio Crochemore Mohnsam da Silva

Professor do Programa de Pós-graduação, Doutor em Epidemiologia

<http://orcid.org/0000-0001-5390-8360> • inacio_cms@yahoo.com.br

Contribuição: Conceituação; Investigação; Escrita – Revisão e edição; Visualização de Dados; Supervisão.

7 – Tiago Collares

Professor do Programa de Pós-graduação, Doutor em Epidemiologia

<http://orcid.org/0000-0002-1535-3795> • tiago.collares@ufpel.edu.br

Contribuição: Conceituação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados.

8 – Régis Sperotto Quadros

Professor do Instituto de Física e Matemática, Doutor em Matemática Aplicada

<http://orcid.org/0000-0002-9720-8013> • quadros99@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Análise Formal; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados.

9 – Glênio Aguiar Gonçalves

Professor do Instituto de Física e Matemática, Doutor em Engenharia Mecânica

<http://orcid.org/0000-0001-7321-3742> • gleniogoncalves@yahoo.com.br

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Análise Formal; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados.

10 – Tiago Borges Ribeiro Gandra

Professor na área de Geoprocessamento, Doutor em Geografia

<http://orcid.org/0000-0002-7165-770X> • tiago.gandra@riogrande.ifrs.edu.br

Contribuição: Software; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados.

11 – Daniela Buske

Professora do Instituto de Física e Matemática, Doutora em Engenharia Mecânica

<http://orcid.org/0000-0002-4573-9787> • danielabuske@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Metodologia; Análise Formal; Investigação; Escrita – Revisão e Edição; Visualização de Dados; Supervisão.

Como citar este artigo

SANTOS, T.M.; et al. Necessidade de leitos hospitalares para Covid-19 estimada por modelo epidemiológico SEIR adaptado para o município de Pelotas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, Ed. Esp. X ERMAC, e11, p.1-12, 2021. DOI 10.5902/2179460X66940. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X66940>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.