MODELO DE SIMULAÇÃO DO USO DE INFRAESTRUTURA FÍSICA HOSPITALAR PARA O TRATAMENTO DA COVID-19

Carolina Lino Martins
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS
carol_tcch@hotmail.com

João Batista Sarmento dos Santos Neto
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS
joao.sarmento@ufms.br

Gabriel Ensinas Valiño Pedreira
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS
gabriel.ensinas@gmail.com

Renan Della Senta Miguel
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS
renandellasenta@gmail.com

Naylil Liria Baldin de Lacerda
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS
naylilacerda@gmail.com

RESUMO

A nova pandemia da COVID-19 tornou-se um importante problema de saúde pública no mundo todo. Assim, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de simulação de sistemas para estimar o impacto da COVID-19 na demanda de utilização da infraestrutura física hospitalar. A infraestrutura considerada para a estimativa são leitos de enfermaria e leitos de UTI. O modelo foi baseado em simulações utilizando Teoria das Filas, por meio do software *Arena*®. Realizamos uma aplicação numérica em uma cidade brasileira, a partir de dados reais, para testar o modelo proposto. Os resultados mostraram que o modelo é capaz de prever a demanda por leitos de enfermaria e UTI, fornecendo suporte aos decisores com informações que permitem apoiar a estimativa de uso da infraestrutura física hospitalar necessária para salvar a maior quantidade de vidas em decorrência da COVID-19, diminuindo a chance do colapso do sistema de saúde.

PALAVRAS CHAVE. COVID-19, Simulação, Teoria das filas.

Tópico: SIM – Simulação

ABSTRACT

The new COVID-19 pandemic has become a major public health problem worldwide. Thus, the objective of this work is to propose a systems simulation model to estimate the impact of COVID-19 on the demand of an hospital's physical infrastructure. The infrastructure considered for the simulation are bed and ICU occupancy. The model was based on simulations using

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Queueing Theory and *Arena*® software. We performed a numerical application in a Brazilian city, based on real data, to test the proposed model. The results showed that the model is able to predict the demand for bed and ICU, providing support to decision makers with information that allows them to estimate the use of an hospital physical infrastructure necessary to save the biggest amount of lives as a result of COVID-19 , decreasing the chance of a health system break down.

KEYWORDS. COVID-19. Simulation. Queueing Theory.

Paper topic: SIM – Simulation

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A pandemia do coronavírus (COVID-19) começou em Wuhan, na China, em dezembro de 2019 e, desde então, espalhou-se para a grande maioria dos países [Wang at al. 2020]. O Brasil, dentro da América Latina, é o mais afetado até a presente data pela pandemia. No país, a COVID-19 já atinge todos os estados brasileiros, com todos eles relatando crescentes números de mortes. A COVID-19 não está apenas causando mortes, mas também colocando uma pressão considerável nos números dos sistemas de saúde.

Nesse contexto, estudos capazes de modelar a COVID-19 são relevantes e necessários, não apenas no sentido de estimar a dinâmica da pandemia, mas também para prever demandas no sistema de saúde, guiar intervenções de autoridades e decisores, além de estimar a quantidade de recursos necessários para combater a doença. Modelos de simulação de sistemas são capazes de replicar operações, processos, ou sistemas reais ao longo do tempo [Ingalls 2008].

No caso de uma pandemia, um modelo de simulação é capaz de prever o impacto no sistema de saúde e estimar qual deve ser a estrutura necessária para suportar essa demanda [Levi et al. 1998], analisar o desempenho do departamento de emergência de um hospital [Sepehri et al. 2015], simular e planejar a programação de salas de cirurgia [Steins et al. 2010], entre outros exemplos.

Assim, estimativas em relação à magnitude potencial do volume de pacientes com COVID-19 são urgentemente necessárias para que os hospitais possam gerenciar efetivamente a crescente quantidade de casos e fornecer a mais alta qualidade de atendimento possível. Com essas informações, é possível dar suporte aos gestores no processo de tomada de decisão, otimizar a alocação dos recursos no combate à pandemia e, principalmente, evitar ao máximo a quantidade de óbitos em decorrência da doença.

Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de simulação de sistemas para estimar o impacto da COVID-19 na demanda de utilização da infraestrutura física hospitalar. Especificamente, pretende-se estimar a demanda de utilização de leitos de enfermaria e Unidades de Terapia Intensiva (UTI's). Para tanto, foi feita uma aplicação numérica utilizando dados do sistema de saúde em Campo Grande – MS, levando em consideração a infraestrutura atual existente na capital de Mato Grosso do Sul.

2. Metodologia

Nosso modelo é baseado em simulações utilizando Teoria das Filas, por meio do software *Arena*®, que envolve o estudo da espera em diferentes tipos de situações. Os modelos de fila representam os tipos variados de sistemas de fila que surgem na prática, incluindo a quantidade média de espera que ocorrerá [Hillier e Lieberman 2013].

A metodologia utilizada segue 6 etapas: levantamento da quantidade total de leitos clínicos e de UTI disponíveis para o combate à COVID – 19; levantamento do tempo entre chegadas (TEC) de pacientes encaminhados para leitos clínicos e de UTI, a partir dos dados referentes às internações já realizadas; levantamento do tempo de permanência dos pacientes internados nos diferentes tipos de leitos; identificação das expressões matemáticas que melhor descrevem os dados coletados; modelagem do fluxograma do processo de internação; simulação computacional e análise dos resultados.

Para identificar as expressões matemáticas que descrevem os dados, utilizamos o *Input Analyzer* (pertencente ao *Arena*®) para o tratamento dos dados coletados e,os relatórios foram gerados no modelo *Category Overview*. A modelagem do fluxograma do processo de internação e a simulação foram realizadas no *Arena*® e a análise de resultados foi feita com o auxílio do *Output Analyzer*. A aplicação numérica da Seção 3 evidencia as etapas da metodologia.

3. Aplicação numérica

No intuito de validar o modelo proposto, fizemos uma aplicação numérica com dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde Pública de Campo Grande - MS (SESAU - MS). A

Figura 1 ilustra o modelo conceitual desenvolvido para a simulação do uso da infraestrutura física hospitalar da cidade.

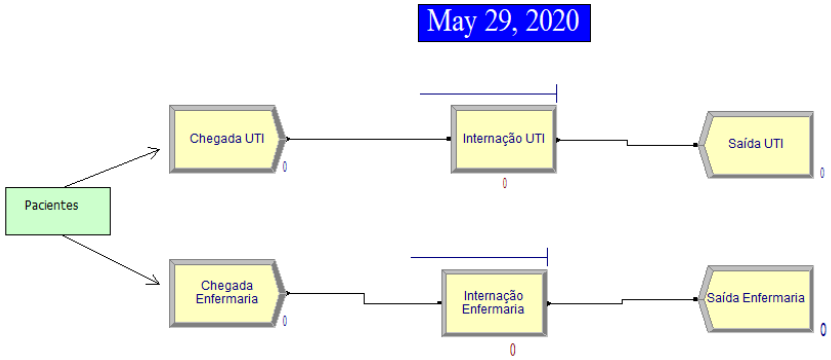


Figura 1 - Modelo conceitual do sistema simulado

É possível notar que a chegada de entidades ocorre em dois fluxos: pacientes internados em UTI (Unidade de Terapia Intensiva) e em enfermaria. Para a modelagem do problema, algumas variáveis foram relacionadas. São elas: tempo entre chegada de pacientes (para internações em UTI - TEC_{UTI}, e em enfermaria - TEC_{enf}), Tempo de internação (em UTI - TI_{UTI}, e em enfermaria - TI_{enf}) e capacidade real de internação.

É importante ressaltar que, para o levantamento do tempo entre chegadas (TEC) e tempo de permanência dos pacientes internados nos diferentes tipos de leitos, consideramos as internações referentes à Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), pois o paciente recebe essa classificação ao dar entrada no hospital e, até que seja confirmada a infecção por COVID-19, o mesmo irá ocupar um leito destinado para tal. Além disso, para definição da capacidade de internação, foram levantados apenas os leitos de UTI e enfermaria disponibilizados para o combate a COVID-19 contratados pelo município no período simulado. De acordo com os dados fornecidos, todos os leitos de UTI possuem respiradores. Assim, não houve necessidade de considerar seu uso em separado para a simulação.

Analisamos os dados descritos na Figura 1 por meio do *Input Analyser*. Foi possível identificar as distribuições estatísticas que melhor se aderiram aos dados. A Figura 2 ilustra o gráfico da distribuição com melhor aderência para a avaliação do TI para os pacientes que chegam a UTI. Observamos que a distribuição com melhor aderência foi a Weibull. Além de obter o erro quadrático baixo (0,02323), o *p-valor* encontrado para o teste *Chi-quadrado* foi de 0,146, qual é maior que o nível de significância de 0,05, concluindo, portanto, que a distribuição Weibull possui boa aderência aos dados coletados.

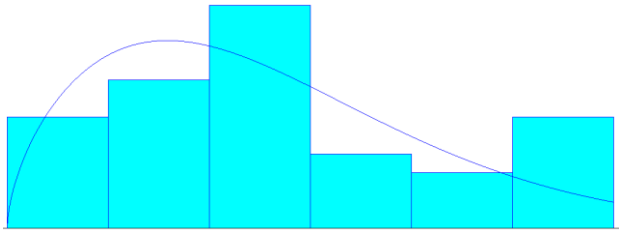


Figura 2 - Gráfico para distribuição com melhor aderência para os dados de TI_{UTI}

Realizamos a mesma análise para as demais variáveis, o que permitiu identificar distribuições com boa aderência também para o TEC_{UTI}, TI_{UTI} e TI_{enf}. A Tabela 1 reúne os parâmetros utilizados para desenvolvimento do modelo de simulação.

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para a modelagem

Variável	Parâmetro	Variável	Parâmetro	Variável	Parâmetro
TEC_{UTI}	-0.001 + WEIB(0.0796, 0.539)	TI_{UTI}	WEIB(1.95, 1.6)	Capacidade UTI	157
TEC_{enf}	-0.001 + WEIB(0.023, 0.519)	TI_{enf}	TRIA (0, 1.04, 5)	Capacidade ENF	341

Após a determinação das expressões matemáticas, calculamos o número de replicações necessárias para o modelo, a fim de se ter um intervalo de confiança de 95%, conforme método descrito por Freitas Filho [2008]. O primeiro valor estipulado, definido aleatoriamente, foi de 20 replicações, no entanto, foi verificado que essa quantidade de replicações não satisfazia o intervalo de confiança de entradas na UTI. Logo, fez-se necessário o uso da Equação 1, que nos retornou o valor de 22 replicações necessárias.

$$n^*=[n(h/h^*)2] \quad (1)$$

Onde, n^* é a nova estimativa para o número de replicações, h é o semi-intervalo de confiança obtido, e, h^*representa o semi-intervalo de confiança desejado.

Com isso, foi possível obter os resultados das replicações para 15 dias de simulação, equivalentes ao período de 25 de junho a 9 de julho de 2020. Por meio da ferramenta *Output Analyzer*, realizamos a análise dos resultados, onde, por exemplo, foi possível identificar o intervalo de confiança da chegada de pacientes em leitos de enfermaria, em um gráfico gerado pelo software, conforme ilustrado pela Figura 3. Além deste, foi gerado o intervalo para a entrada de pacientes em UTI, conforme dados da Tabela 2.

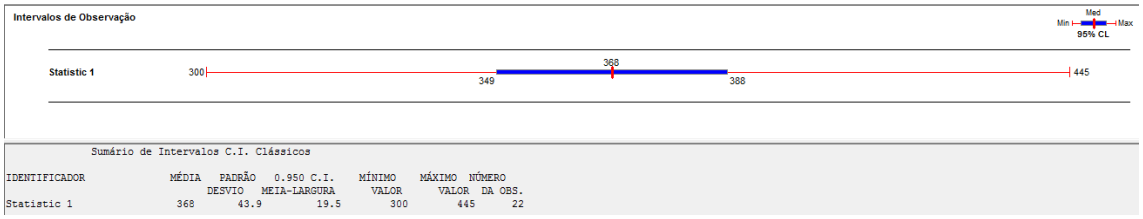


Figura 3 - Intervalo de confiança de entrada de pacientes em enfermaria

Tabela 2 - Intervalo de confiança das replicações

Entrada	Enfermaria	UTI
Intervalo de confiança para chegada de pacientes para internação (min/média/máx)	349 / 368/ 388	104/115/127
Utilização dos leitos (min/média/máx)	11,03% / 13,27% / 16,52%	5,17% / 7,93% / 12,82%

Após a validação dos dados dos intervalos de confiança, criamos histogramas para análise da chegada de pacientes para internação e utilização de leitos (enfermaria e UTI) para verificar oscilações entre as replicações. A Figura 4 exemplifica o gráfico gerado pelo software, na análise da frequência de chegada de pacientes para internação na enfermaria por replicação.

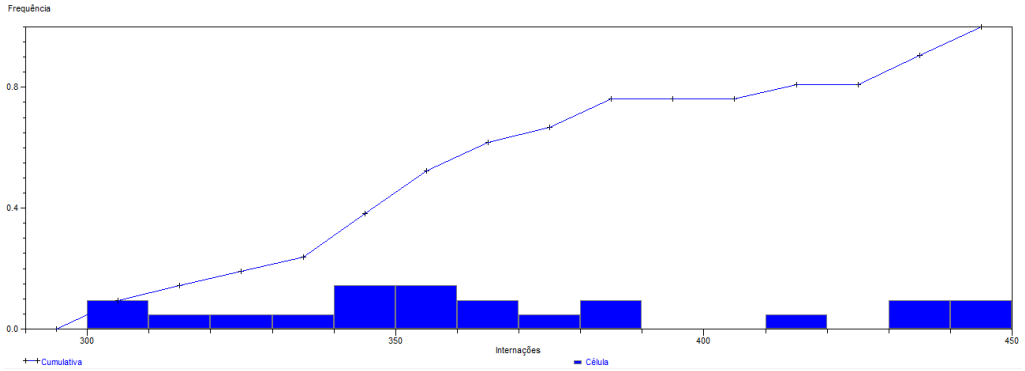


Figura 4 - Frequência de chegada de pacientes para internação na enfermaria por replicação

A Figura 4 mostra que 11 das 22 replicações tiveram internações na enfermaria entre 340 e 390 pacientes. Ao considerar que ao mesmo tempo que pacientes chegam para a internação outros leitos são desocupados por pacientes que recebem alta ou morrem, a quantidade de 341 leitos de enfermaria é suficiente para a quantidade de internações simuladas. Além disso, a Tabela 2 mostra que a utilização máxima de leitos de enfermaria para o período simulado é de 16,52%. Logo, para o período simulado, a quantidade de leitos de enfermaria é suficiente. A mesma conclusão foi tirada para os leitos de UTI, onde observamos que 17 das 22 replicações tiveram internações em UTI entre 80 e 130 pacientes com utilização máxima de 12,82%.

Considerações finais

A simulação computacional é um importante instrumento para avaliação da utilização de infraestrutura física hospitalar de uma cidade. De forma mais específica, este artigo alcançou seu objetivo ao descrever o uso do simulador *Arena*® para avaliação do impacto que a evolução da demanda pode ocasionar na estrutura do sistema de saúde direcionada para o tratamento da COVID-19.

Ressaltamos que nosso estudo é uma simulação com base em modelos matemáticos e que, como qualquer modelo, está sujeito a erros e limitações, ainda mais por se tratar de estimativas de situações futuras que dependem de uma série de fatores, como: qualidade dos dados fornecidos pelas autoridades de saúde, comportamento da doença em uma região específica, quantidade de leitos disponíveis para o tratamento da doença, hábitos da população local, medidas de controle da propagação do vírus adotadas até o momento, idade média da população analisada, além de outros fatores.

Os modelos são representações da realidade e devem ser vistos como ferramentas capazes de se adaptar a variações nos dados, no intuito de serem úteis para orientar decisões nas políticas de saúde quando ajustadas a um contexto epidemiológico mais abrangente. A relevância deste estudo está na proposição de um modelo para apoiar os gestores que estão por trás das decisões que envolvem o sistema de saúde para tratamento da COVID-19.

O enfrentamento do coronavírus é um grande desafio para os tomadores de decisões do poder público, entidades e órgãos competentes. Dessa forma, a simulação realizada no *Arena*® fornece suporte aos gestores com informações que permitem apoiar a estimativa de uso da infraestrutura física hospitalar necessária para salvar a maior quantidade de vidas em decorrência da COVID-19, diminuindo a chance do colapso do sistema de saúde.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da *Paragon Decision Science* e da *Rockwell Automation* pelo fornecimento das licenças do software *Arena*®, da Secretaria Municipal de Saúde Pública de Campo Grande (SESAU-MS) pelo fornecimento de dados, além da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Referências

Freitas, P. J. D. (2001). Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas. Florianópolis, SC, Brasil: Visual Books.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2013). Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill, Brasil.

Ingalls, R. G. (2008). Introduction to simulation. In: *Winter Simulation Conference, Proceedings*. Miami, FL, USA.

Levi, L., Bregman, D., Geva, H., Revach, M. Hospital disaster management simulation system. *Prehosp Disaster Med*. 1998;13(1):29-34.

Sepehri, Z., Arabzad, S. M., Sajadi, S. M. (2015). Analysing the performance of emergency department by simulation: the case of Sirjan Hospital. *International Journal of Services and Operations Management*, *20*(3), 289-301.

Steins, K., Persson, F., Holmer, M. (2010). Increasing utilization in a hospital operating department using simulation modeling. *Simulation*, *86*(8-9), 463-480.

Wang, C., Horby, PW., Hayden, FG., Gao, GF. (2020). A novel coronavirus outbreak of global health concern. *Lancet*. 395(10223):470-473.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings