# MODELO PARA O DIMENSIONAMENTO DE LEITOS DE UTI PARA PACIENTES DE COVID-19 BASEADO NA TEORIA DAS FILAS

**José Leão**
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/CAA
Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 – Nova, Caruaru – PE
zeleao@gmail.com

**Marcele Elisa Fontana**
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/CAA
marcele.elisa@ufpe.br

**Rodrigo Lopes**
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/CAA
rodrigoengep@gmail.com

## RESUMO

A ciência tem corrido contra o tempo a fim de tentar gerar conhecimento para auxiliar nos esforços contra COVID-19. Dentre tantos conceitos úteis, a teoria das filas possui um arcabouço teórico consolidado e que pode ser útil em gerar informações sobre previsão de leitos em hospitais. Este artigo desenvolve um modelo para prever de leitos de UTI para pacientes de COVID-19 baseado na teoria das filas. Os resultados mostram que o modelo apresenta aos gestores as potencias melhoras no sistema de saúde geradas por ajustes na capacidade de atendimento.

**PALAVRAS CHAVE. Pesquisa Operacional, Capacidade, Sistema de saúde, Pandemia.**

**Tópicos: SA – PO na Área de Saúde, SIM – Simulação.**

## ABSTRACT

Science is in a race against the clock, trying to generate knowledge to assist the efforts against COVID-19. Among so many useful concepts, the queuing theory has a consolidated theoretical framework that can be useful to generate information about bed forecasts in a hospital. This paper develops a model to forecast the number of ICU beds for patients with COVID-19 based on queuing theory. The results show that the model presents potential improvements in the health system to managers generated from service capacity adjustment.

**KEYWORDS: Operational Research, Capacity, Health System, Pandemic.**

**Topics: SA - PO in the Health Area, SIM - Simulation.**

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

## 1. Introdução

O novo agente do Coronavírus (COVID-19) foi descoberto em 31/12/19 após casos registrados na China. O primeiro caso registrado no Brasil data de 26 de fevereiro de 2020. Em Pernambuco, o primeiro caso foi confirmado em 12 de março de 2020, por sua vez, Caruaru (PE) registrou seu primeiro caso em 23 de março. No inicio de Junho de 2020, o Brasil já registrava 584.016 e 32.548 mortes, Pernambuco registrava 36.463 casos e 3.012 mortes, enquanto Caruaru confirmou 707 casos e 56 mortes [Brasil, 2020; Pernambuco, 2020; Prefeitura de Caruaru, 2020].

Neste contexto, um problema importante é a disponibilidade de leitos hospitalares e seu uso adequado [Belciug e Gorunescu, 2016]. O gerenciamento do leito de internamento controla o fluxo de internamento em um hospital, com base na progressão do estado de saúde, e sua complexidade deriva de incertezas no tempo de permanência do paciente, flutuações nas demandas, decisões inesperadas de admissão, status de recuperação do paciente e outros fatores [Belciug e Gorunescu , 2016; He et al. 2019]. Se esses fatores não forem conhecidos e considerados, o sistema de saúde projetado não poderá atender à demanda [Kakad et al., 2019].

Os sistemas de saúde são inerentemente complexos. Nos hospitais, por exemplo, existem vários departamentos e processos interdependentes, como: Departamento Ambulatorial, departamento de emergência, enfermarias, sala de operações, Unidade de Terapia Intensiva (UTI) / Centro de Terapêutica Intensiva (CTI), serviços de diagnóstico, etc. [Bhattacharjee e Ray, 2014; Marshall et al. 2015]. As restrições de recursos dão aos gerentes de saúde a responsabilidade de organizar seus processos de maneira mais eficaz e eficiente [Lakshmi e Iyer, 2013].

O número de leitos fornece uma ideia agregada da capacidade de atendimento de um hospital. Atualmente, a taxa de internações vem aumentando com a disseminação do COVID-19. No entanto, a taxa de alta hospitalar não acompanha esse aumento na mesma proporção. Nesse contexto, a teoria das filas é uma abordagem potencial para o planejamento de capacidade [He et al. 2019; Vass e Szabo 2015], amplamente utilizado nas operações hospitalares [Belciug e Gorunescu, 2016; Silberholz et al. 2013], porque os modelos de filas são simples e requerem relativamente poucos dados [Lakshmi e Iyer, 2013]. Apesar da simplicidade, esses modelos matemáticos são capazes de fornecer forte suporte aos tomadores de decisão [Kakad et al., 2019].

Portanto, este trabalho propôs um modelo para o dimensionamento de leitos de UTI para a covid-19 baseado na teoria das filas. As simulações levaram as condições de uma cidade de médio porte como Caruaru, no estado de Pernambuco. Este estudo faz parte das iniciativas da UFPE direcionadas as ações de combate ao Coronavírus no estado, por meio do Observatório da COVID-19.

Este artigo foi estruturado em cinco seções, além desta introdução. A seção 2 apresenta uma revisão da literatura. A seção 3 descreve a metodologia usada. A seção 4 apresenta as simulações realizadas. Em seguida, os resultados são discutidos na seção 5. E, finalmente, as conclusões são apresentadas na seção 6.

## 2. Literatura relacionada

As complexidades nos fluxos de pacientes devem-se principalmente às seguintes características [Bhattacharjee e Ray, 2014]:

i. Existem várias vias possíveis de atendimento;
ii. Pode haver um número muito grande de estágios em alguns casos em que o paciente exige uma combinação de grande número de serviços;
iii. Pode haver várias regras de prioridade de atendimento, bem como várias regras que regem as políticas de admissão e reserva ao alocar leitos para diferentes tipos de pacientes.

Os fluxos de pacientes afetam diretamente quantos leitos são necessárias para atender à demanda, mantendo taxas razoáveis de utilização da cama. O modelo de pesquisa operacional oferece uma abordagem sistemática para lidar com esses problemas, e os modelos de filas são usados com sucesso [Lakshmi e Iyer, 2013].

A abordagem matemática relacionada a teoria das filas tem pouco mais de 100 anos com Erlang. (Darci, 2014), mas o seu desenvolvimento se deu com mais intensidade após a segunda guerra mundial, junto com o desenvolvimento geral da Pesquisa Operacional. As aplicações de filas são

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

diversas. Darci (2014) apresenta exemplos em linhas de produção, logística, comunicações, bancos, supermercados, escritórios, confiabilidade, processamento de dados, *call center*, entre outros. Hillier and Lieberman (2010) complementa esta importância, apresentando casos reais de utilização em grandes empresas, como a empresa aérea United, por exemplo.

Diante disso, neste trabalho, uma revisão da literatura foi realizada para entender o problema. Primeiro, o seguinte protocolo de pesquisa foi usado:

- Bases de dados: Science Direct, disponível no Portal da Revista Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);
- Período: publicações de 2010 a 2020;
- Tipo de artigo: Artigos de revisão, Artigos de pesquisa e Comunicações breves.
- Língua inglesa.

A cadeia de busca utilizada foi: ("bed planning" OR "bed manage" OR "bed management") AND (“queue theory” OR “queuing Theory” OR “queueing theory”). Vinte e um artigos foram encontrados, sendo que 11 deles mencionaram as palavras-chave, mas não abordam o problema envolvendo o gerenciamento de leitos e / ou não discutiram a teoria das filas. Portanto, apenas dez artigos foram analisados.

Três artigos forneceram uma revisão sistemática da literatura. He et al. [2019] estudaram o problema de gerenciamento de leitos de internação. Lakshmi e Iyer [2013] revisaram a teoria das filas exatamente no campo dos problemas de gerenciamento de saúde. Tierney e Conroy [2014] fizeram uma revisão da literatura sobre ocupação ideal na UTI. Todos eles concordaram que os modelos da teoria das filas (QT) são adequados para planejar capacidade e alocação de recursos.

Bhattacharjee e Ray [2014] desenvolveram uma estrutura genérica para modelagem de fluxo de pacientes e análise de desempenho dos processos de prestação de assistência médica em hospitais, onde a teoria das filas pode ser incorporada. Marshall et al. [2015] fizeram um relatório para auxiliar pesquisadores e tomadores de decisão a decidir qual método de simulação é apropriado entre a dinâmica do sistema, a simulação de eventos discretos (SED) e a modelagem baseada em agentes. Eles relataram que “filas são um conceito importante no SED e ocorrem quando várias entidades competem por um recurso específico pelo qual há uma restrição”.

Vários autores utilizam os modelos que consideram apenas a distribuição exponencial, ou processos de Poisson, tanto a chegada dos pacientes quanto o tempo de serviço seguem uma distribuição exponencial [Belciug e Gorunescu, 2016; Siqueira et al., 2018; Vass e Szabo, 2015].

Outros autores consideraram uma distribuição Erlang ($E_k$), que é uma distribuição de probabilidade contínua [Belciug e Gorunescu, 2016; Kakad et al., 2019]. Kakad et al. [2019] usaram Erlang B, ou fórmula de perda Erlang. Equanto, Belciug e Gorunescu [2016] usaram uma distribuição de serviços no tipo de fase (PH) que é considerada uma generalização probabilística natural de Erlang.

Por fim, encontrou-se também a consideração da distribuição geral (G) para o tempo de serviço [Silberholz et al. 2013].

Em resumo, pode-se perceber que a teoria das filas é usada e amplamente afirmada na literatura como uma metodologia eficiente no dimensionamento de leitos. Sendo assim, ela pode ser adaptada para a situação de pandemia vivenciada no mundo em 2020.

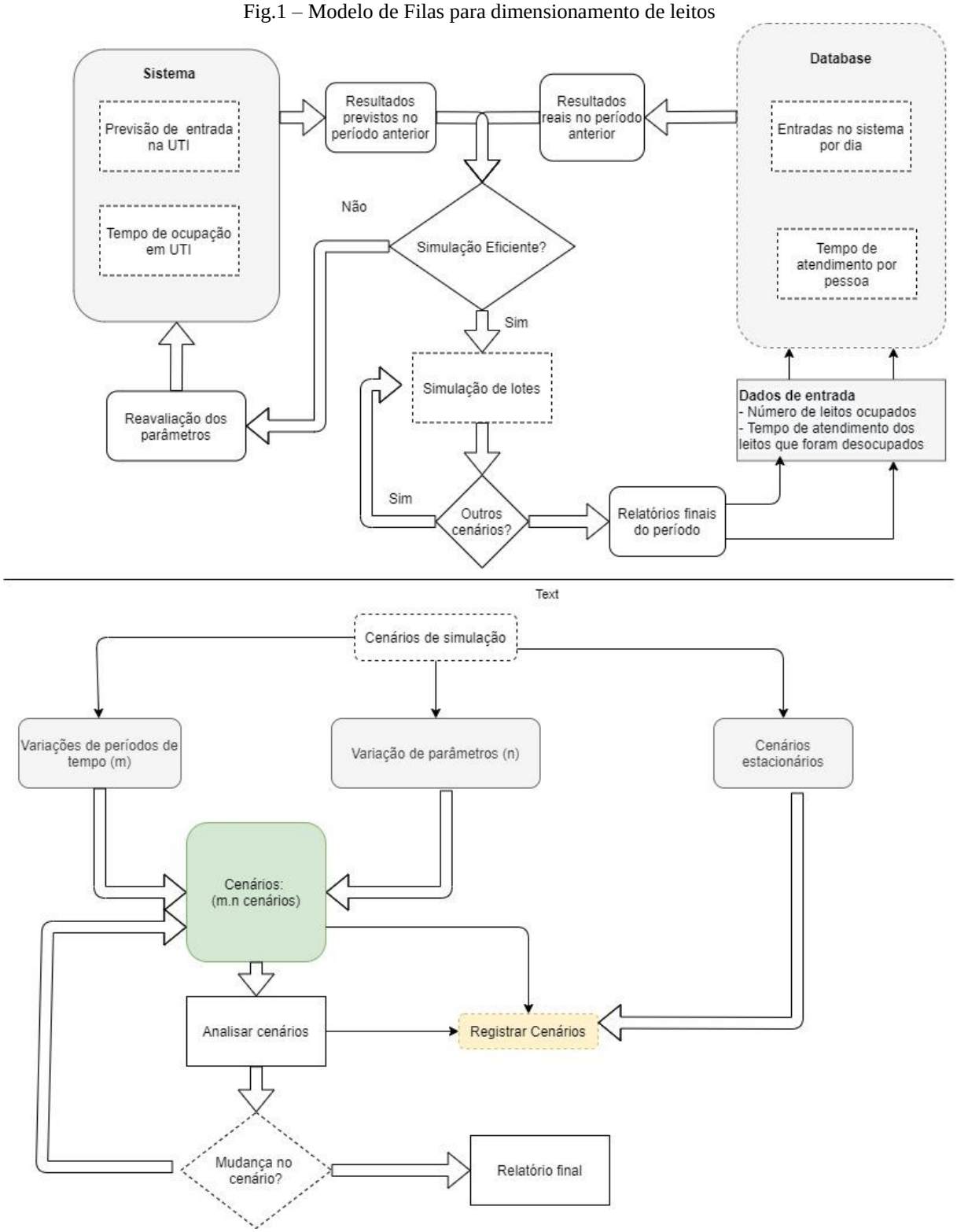
## 3. Modelo de simulação de cenários

Os estudos de ocupação dos leitos de hospital são muitos. Contudo, o desenvolvimento de estudos relativos, especificamente, às UTIs é bem menor. A escassez de informação aumenta quando se considera o cenário da COVID-19. Rees et al (2020) comprovou isso em seu estudo, onde por meio de um levantamento na literatura foi possível verificar que apenas 15% dos trabalhos estudaram especificamente as UTIs, enquanto os demais avaliam leitos de maneira geral.

O estudo de filas no cenário COVID-19 apresenta alguns pontos que tornam o problema mais complexo, como: a fila está em um estado transiente, ou seja, ainda não se estabilizou; a taxa de entrada no sistema está aumentando e a distribuição é desconhecida; a taxa de serviço não tem um valor bem definido na literatura; o sistema atual em muitos estados funciona como uma rede de serviços, entre outros.

O cenário descrito é complexo e, portanto, o objetivo do estudo em teoria das filas não precisa se basear em uma representação perfeita da fila atual, mas com a proposição de modelos capazes de gerar informações úteis para o caso. Este cenário de incertezas e a necessidade de apresentar uma informação útil para a gestão de leitos de UTI motivou a proposição de um modelo de dimensionamento de leitos. Desta forma, a Fig.1 sintetiza o modelo proposto da ocupação de UTIs.

Fig.1 – Modelo de Filas para dimensionamento de leitos




Fonte: Os autores (2020).

A primeira parte do modelo apresenta uma formulação geral para estruturas que se propõem a utilizar a teoria das filas em modelagens de UTI em um cenário de incerteza de dados. Dentro deste modelo há duas regiões de destaque.

- **Sistema:** Compreende um modelo de previsão de uso de leitos de UTI e de chegada de pacientes na UTI.

Algumas informações importantes para o sistema:
- Distribuição estatística da previsão de casos
-Distribuição estatística da ocupação de UTI
-Tempo de espera em fila tolerado
-Probabilidade de lotar a UTI
-Horizonte de tempo da previsão

- **Database:** Corresponde ao banco de dados que armazena os valores reais obtidos, até então, no período de análise.

Os dados de previsão do sistema precisam passar por constante reavaliação por conta das incertezas do cenário proposto. Considere que o período atual corresponde ao tempo $t$ e o último período o qual foi feita a avaliação corresponde a $(t-1)$. O primeiro passo é realizar um teste e verificar se a previsão feita no a partir do período $(t-1)$ para o período $(t)$, que corresponde de fato aos valores reais obtidos em $t$. Caso a previsão não tenha sido boa o suficiente, o modelo sugere uma reavaliação dos parâmetros. Por outro lado, é realizada a proposta de simulação.

Dentro da etapa de simulação são propostas três alternativas. A combinação de $n$ períodos de tempo diferente, com $m$ parâmetros e, quando conveniente, é sugerido o cálculo da fila no modelo estacionário para ser utilizado como referência. Os valores da simulação e suas avaliações são registrados e, caso não seja estimulada um cenário extra (que pode surgir a partir da avaliação dos cenários anteriores), os resultados e avaliações devem ser anexados ao relatório final do período.

É importante ressaltar que o modelo se preocupa especialmente com a incerteza relativa a previsão e procura fazer um ajuste constante ao modelo. Também compreende que novos insights podem surgir de cenários construídos. Portanto, as redundâncias do modelo são peça-chave para tentar minimizar os riscos em um cenário de incerteza.

### 3.1. Simulação

Nesta etapa do trabalho, o modelo considerou o município de Caruaru (PE) como contexto de aplicabilidade do modelo. No cenário atual, há uma grande deficiência de informações, portanto, os parâmetros para a simulação não puderam ser obtidos diretamente. Para realizar a simulação foi utilizado o software ARENA versão 14.0. Para tornar a simulação mais precisa, os parâmetros foram propostos com base em uma série de artigos, relatórios de entidades e entrevistas com especialistas como [Chen et al., 2020; Vasconcelos, 2020; Pan et al., 2020; Prefeitura de Caruaru, 2020; Ruan et al., 2020; Zhou et al., 2020]. Para a definição da distribuição dos tempos de atendimento, é considerada a distribuição Gama. Esta estratégia foi considerada por alguns autores que têm estudado o caso específico da COVID-19 [Price et al., 2020; ISARIC, 2020]. Lapidus et al. [2020] avaliou dados de tempo em UTI e mostrou que a distribuição Gama foi a mais eficiente. Assim, o seguinte cenário base foi considerado:

- Entrada: Distribuição exponencial.
- Atendimento: Distribuição gama com tempo entre atendimentos na UTI de 18 dias;
- Número de leitos: 40;
- Ocupação de leitos da data base: 50%;
- Tempo de entrada base (TEB): 8 horas/paciente;

Além disso, considerou-se como um sistema colapsado qualquer fila com tempo superior a 24 horas. Para as simulações foram gerados quatro cenários variando-se o tempo de duração da simulação

(14 ou 21 dias) e variando o tempo de entrada entre 8 horas (TEB) e 6 horas (redução de 25% no TEB). Os resultados são apresentados na seguinte seção.

## 4. Resultados

### 4.1. Cenário 1

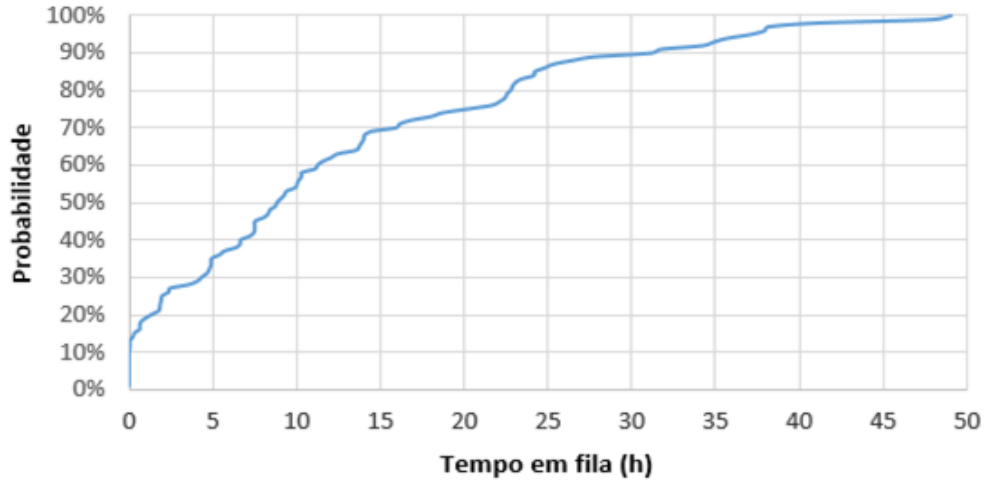
Neste cenário considerou-se 21 dias de simulação e TEB. A Tabela 1 apresenta dos dados estatísticos gerados e a Figura 2 traz uma distribuição do tempo em fila.

Tabela 1. Estatísticas: Cenário 1

| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
|---|---|---|---|---|
| **Tamanho da fila** | 2,43 | 0 | 10,849 | 37 |
| **Tempo fila** (h) | 12,44 | 0 | 49,03 | 200,83 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 79,65 | 52,56 | 93,11 | 100 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 90% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 25% |

Fonte: Os autores (2020).

Fig.2. Distribuição do tempo em fila: Cenário 1




Fonte: Os autores (2020).

Este cenário, como mostram a Tabela 1 e Figura 2, traz uma previsão preocupante, o tempo médio em fila é pouco mais que 12h e há uma chance de 25% do sistema entrar em colapso.

### 4.2. Cenário 2

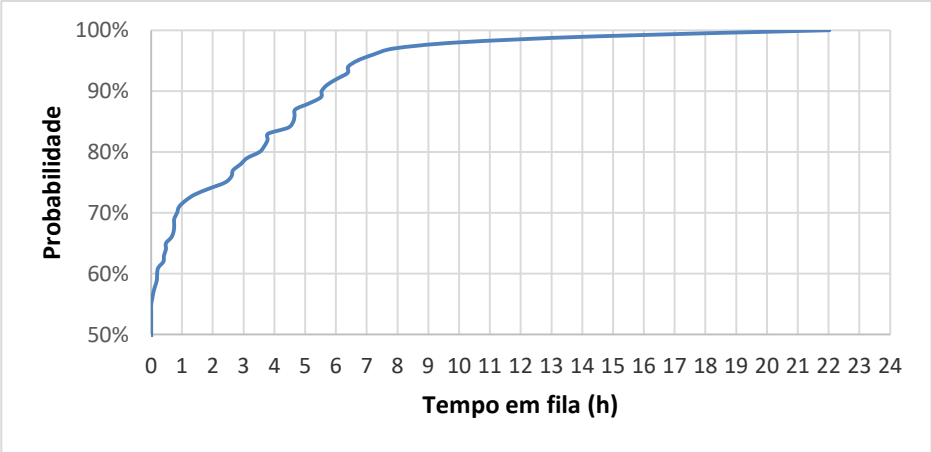
Neste cenário considerou-se 14 dias de simulação e TEB. A Tabela 2 apresenta dos dados estatísticos gerados e a Figura 3 traz uma distribuição do tempo em fila.

Tabela 2. Estatísticas: Cenário 2

| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
|---|---|---|---|---|
| **Tamanho da fila** | 0,52 | 0 | 5,04 | 21 |
| **Tempo fila** (h) | 1,67 | 0 | 22 | 125,28 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 70,92 | 46,09 | 89,76 | 100 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 45% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 0% |

Fonte: Os autores (2020).

Fig.3. Distribuição do tempo em fila: Cenário 2




Fonte: Os autores (2020).

Com 14 dias e a atual taxa, não há tempo do sistema colapsar. Contudo o crescimento da taxa de ocupação, de 50 para 70,92% se mostra bastante acelerado.

### 4.3. Cenário 3

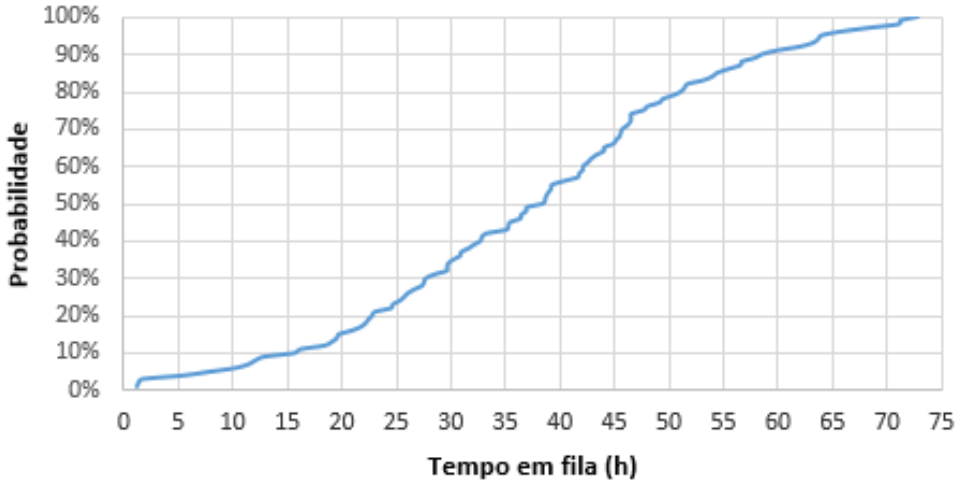
Neste cenário considerou-se 21 dias de simulação e redução de 25% na TEB. A Tabela 3 apresenta dos dados estatísticos gerados e a Figura 4 traz uma distribuição do tempo em fila.

Tabela 3. Estatísticas: Cenário 3

| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
|---|---|---|---|---|
| **Tamanho da fila** | 8,85 | 0,3392 | 21,96 | 56 |
| **Tempo fila** (h) | 37,44 | 1,19 | 72,84 | 263,136 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 87,26 | 68,23 | 95,64 | 1 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 100% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 79% |

Fonte: Os autores (2020).

Fig.4. Distribuição do tempo em fila: Cenário 3




Fonte: Os autores (2020).

Propondo um cenário com um tempo 25% menor do que o esperado, a situação sofre uma piora considerável. O tempo médio de uma fila passa de um dia e meio, podendo chegar no pior dos cenários em 11 dias. Há uma chance de quase 80% do sistema colapsar.

### 4.4. Cenário 4

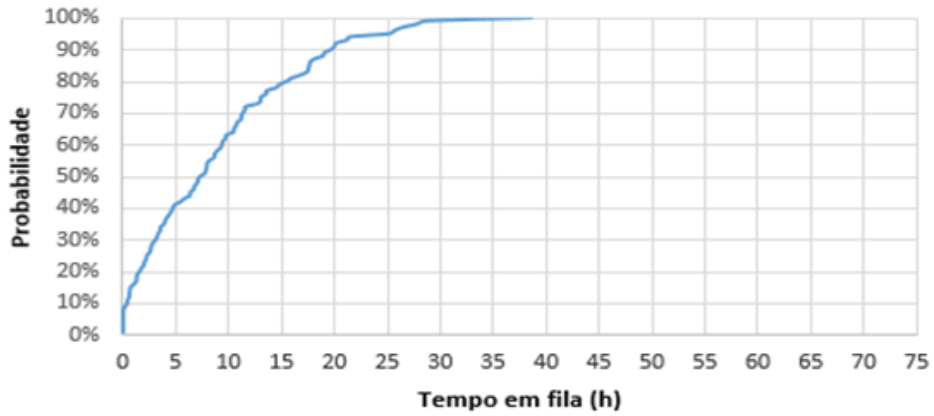
Neste cenário considerou-se 14 dias de simulação e redução de 25% na TEB. A Tabela 4 apresenta dos dados estatísticos gerados e a Figura 5 traz uma distribuição do tempo em fila.

Tabela 4. Estatísticas: Cenário 4

| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
|---|---|---|---|---|
| **Tamanho da fila** | 3,28 | 0 | 11 | 38 |
| **Tempo fila** (h) | 8,93 | 0 | 38,64 | 156,77 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 80,96 | 55 | 93,47 | 100 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 92% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 6% |

Fonte: Os autores (2020).

Fig.5. Distribuição do tempo em fila: Cenário 4




Fonte: Os autores (2020).

Com 14 dias, este cenário onde chega gente 25% mais rápido que o cenário base já dá indícios da situação perigosa que o sistema se encontra. A ocupação pula de 50% para 80% e já há 6% de chance de o sistema colapsar.

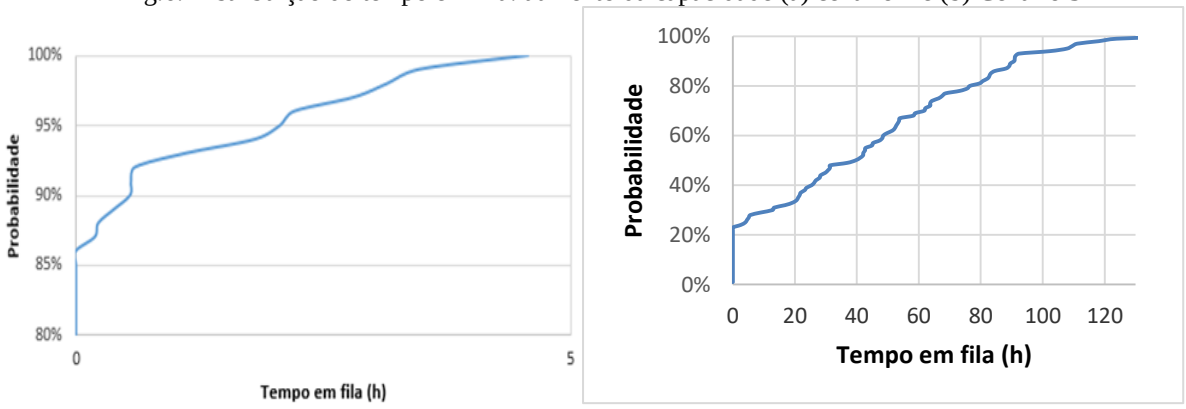
Após estes cenários gerados, verificou-se que os cenários 1 e 3 foram os piores cenários, com grande probabilidade de colapso do sistema. Desta forma, para demostram o comportamento do sistema de saúde com o aumento da capacidade instalada, prometida pela gestão pública municipal, os cenários foram recalculados considerando uma adição de 10 leitos (50 no total). A Tabela 5 apresenta dos dados estatísticos gerados e a Figura 6 traz uma distribuição do tempo em fila para os cenários modificados.

Tabela 5. Estatísticas: Cenário com aumento da capacidade

| **Cenário 1 modificado** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
| **Tamanho da fila** | 0,066 | 0 | 1,85 | 16 |
| **Tempo fila** (h) | 0,24 | 0 | 4,56 | 99,36 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 57,44 | 40,85 | 73,25 | 1 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 14% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 0 |
| **Cenário 3 modificado** | | | | |
| | Média da simulação | Menor média | Maior média | Maior valor absoluto |
| **Tamanho da fila** | 1,079 | 0 | 5,437 | 28 |
| **Tempo fila** (h) | 4,29 | 0 | 20,81 | 99,53 |
| **Ocupação de Leitos** (%) | 66,58 | 47,18 | 79,12 | 100 |
| **Probabilidade de formação de filas** | | | | 79% |
| **Chance de colapso no sistema** | | | | 61% |

Fonte: Os autores (2020).

Fig.6. Distribuição do tempo em fila: aumento da capacidade (a) cenário 1 e (b) Cenário 3




(a) (b)

Fonte: Os autores (2020).

No cenário 1 modificado, o desempenho melhora bastante e o tempo médio em fila passa a ser de menos de 30 minutos. Não haveria chance de colapsar e há apenas 14% de chances de se formar uma fila. Enquanto no cenário 3 modificado, é possível observar uma tendência de queda para uma possível estabilização. Um bom indício sobre esta característica é a utilização média de leitos que caiu para 66,85%. A chance de não haver fila deixou de ser nula e subiu para 14%.

O modelo evidencia, assim, que o aumento na capacidade de atendimento é fundamental para evitar o colapso do sistema.

## 5. Conclusão

O modelo aqui apresentado se destinou a gerar informações úteis para a tomada de decisão da gestão pública. O modelo é capaz de mostrar aos gestores as potencias melhoras no sistema geradas pela alteração da capacidade de atendimento, neste caso, pelo número de leitos disponíveis. Com o uso do modelo proposto os gestores podem verificar o comportamento do sistema de saúde com a alteração da capacidade instalada, minimizado os riscos de colapso do sistema.

Este trabalho teve como motivação principal as iniciativas da UFPE em relação às ações ao combate do Coronavírus no estado de Pernambuco. Adicionando-se a isso, há a necessidade emergente de estudos voltados ao interior do estado. Caruaru (PE) é considerada a capital do Agreste, ou seja, é município referencia para os demais na região. Deste modo, este trabalho buscou basear-se na realidade de Caruaru para implementar seu estudo. Contudo, uma limitação foi a falta de dados precisos e reais. Por isso, os resultados aqui servem apenas para demostram a aplicabilidade da proposta.

Essa abordagem pode ser utilizada tanto pela gestão pública, a fim de nortear políticas de melhoria nos serviços, quanto em hospitais particulares, ou até redes hospitalares.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## Referencias

Belciug, S., Gorunescu, F. (2016). A hybrid genetic algorithm-queuing multi-compartment model for optimizing inpatient bed occupancy and associated costs. *Artificial Intelligence in Medicine*, 68: 59-69. https://doi.org/10.1016/j.artmed.2016.03.001

Bhattacharjee, P., Ray, P. K. (2014). Patient flow modelling and performance analysis of healthcare delivery processes in hospitals: A review and reflections. *Computers & Industrial Engineering*, 78: 299-312.

Brasil (2020). Coronavírus COVID-19: todo o quê você precisa saber. Ministério da Saúde. Disponível em <https://coronavirus.saude.gov.br/> Acesso em 04/06/2020.

Chen J, Fan H, Zhang L, Huang B, Zhu M, Zhou Y, et al. (2020). Retrospective analysis of clinical features in 101 death cases with COVID-19. medRxiv. https://doi.org/10.1101/2020.03.09.20033068

He, L., Madathil, S.C., Oberoi, A., Servis, G., Khasawneh, M.T. (2019). A systematic review of research design and modeling techniques in inpatient bed management. *Computers & Industrial Engineering*, 127: 451-466. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.033

Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2010). *Introdução à pesquisa operacional*. McGraw Hill.

ISARIC, International Severe Acute Respiratory and Emerging Infection Consortium. (2020). COVID-19 Report. Disponível em <https://isaric.tghn.org/> Acesso em 04/06/2020.

Kakad, M., Utley, M., Rugkasa, J., Dahl, F.A. (2019). Erlang could have told you so—A case study of health policy without maths. *Health Policy*, 123: 1282-1287. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2019.09.014

Lakshmi C, Iyer, S. A. (2013). Application of queueing theory in health care: A literature review, *Operations Research for Health Care*, 2 (1): 25-39. https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.03.002

Lapidus N., Zhou X., Carrat F., Riou B., Zhao Y. (2020). Biased and unbiased estimation of the average length of stay in intensive care units in the covid-19 pandemic. *Medrxiv*. https://doi.org/10.1101/2020.04.21.20073916

Marshall, D.A., Burgos-Liz, L., IJzerman, M.J., Osgood, N.D., Crown, W. (2015). Applying dynamic simulation modeling methods in health care delivery research - the SIMULATE checklist: report of the ISPOR simulation modeling emerging good practices task force, Value in HealthVolume 18 (1): 5-16. https://doi.org/10.1016/j.jval.2014.12.001

Pan, L., Mu, M., Yang, P., Sun, Y., Wang, R., Yan, J., Li, P., Hu, B., Wang, J., Hu, C., Jin, Y., Niu, X., Ping, R., Du, Y., Li, T., Xu, G., Hu, Q., & Tu, L. (2020). Clinical Characteristics of COVID-19 Patients With Digestive Symptoms in Hubei, China: A Descriptive, Cross-Sectional, Multicenter Study. *The American Journal of Gastroenterology*, 115(5): 766–773. https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000620

Pernambuco (2020). Pernambuco contra a CONVID-19. Secretaria de Saúde Estatual. Disponível em <https://www.pecontracoronavirus.pe.gov.br/> Acesso em 04/06/2020.

Prefeitura de Caruaru (2020). Caruaru em combate ao Coronavírus. Secretaria de Saúde Municipal. Disponível em <https://caruaru.pe.gov.br/coronavirus> Acesso em 04/06/2020.

Price, D. J., Shearer, F.M., Meehan M.T., et al. (2020). Early analysis of the Australian covid-19 epidemic. *Medrxiv*: 1–22. https://doi.org/10.1101/2020.04.25.20080127

Rees, E. M., Nightingale, E. S. Jafari, Y., Waterlow, N., Clifford, S., Pearson, C.A.B., et al. (2020). COVID-19 length of hospital stay: a systematic review and data synthesis. *MedRxiv*, https://doi.org/10.1101/2020.04.30.20084780.

Ruan Q., Yang K., Wang W., Jiang L., Song J. (2020) Clinical predictors of mortality due to COVID-19 based on an analysis of data of 150 patients from Wuhan, China. *Intensive Care Med*. 46(5): 846-848. https://doi.org/10.1007/s00134-020-05991-x.

Siqueira, C. L., Arruda, E. F., Bahiense, L., Bahr, G. L., Motta, G. R. (2018). Long-term integrated surgery room optimization and recovery ward planning, with a case study in the Brazilian National Institute of Traumatology and Orthopedics (INTO), *European Journal of Operational Research*, 264 (31): 870-883. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.021
Silberholz, J., Anderson, D., Golden, B., Harrington, M., Hirshon, J. M. (2013). The impact of the residency teaching model on the efficiency of the emergency department at an academic center. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(3): 183-190. https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.08.001

Vasconcelos, R. Pacientes da Covid-19 passam em média 18 dias internados nos leitos estaduais. Diário de Pernambuco, 2020. Disponível em < https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2020/04/pacientes-da-covid-19-passam-em-media-18-dias-internados-nos-leitos-es.html> Acesso em 15.05.2020.

Vass, H., Szabo, Z.K. (2015). Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study. *Procedia Economics and Finance*, 32: 479-487. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01421-5

Tierney, L.T., Conroy, K.M. (2014). Optimal occupancy in the ICU: A literature review. *Australian Critical Care*, 27 (2): 77-84. https://doi.org/10.1016/j.aucc.2013.11.003

Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, et al. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet* 395: 1054-1062. https://doi.org/10.1016/ S0140-6736(20)30566-3

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