



## **Integrando a mineração de processos e simulação para apoiar a gestão de fluxo de pacientes em Pronto-Socorro**

### **Integrating process mining and simulation to support patient flow management in Emergency Departments**

Fábio Pegoraro<sup>1</sup>

Eduardo Alves Portela Santos<sup>2</sup>

Eduardo de Freitas Rocha Loures<sup>3</sup>

Fernanda Wanka Laus<sup>4</sup>

#### **Resumo**

Um Pronto Socorro (PS) enfrenta demandas aleatórias de pacientes com diferentes necessidades o que pode contribuir com a sua superlotação. Assim, este estudo concebeu um framework de suporte à tomada de decisão na gestão de PS. O framework integra técnicas de simulação suportada pela mineração de processos. A simulação foi utilizada neste trabalho pois a mesma contribui para capturar a aleatoriedade e complexidade do fluxo de pacientes no ps e suportar o processo decisório. No entanto, os dados para alimentar um modelo de simulação geralmente são coletados de forma manual a partir da cronometragem de tempos entre as chegadas de pacientes no ps, tempo para realização de triagem, entrevistas com especialistas, etc. Entretanto, utilizar somente estas técnicas de coleta pode-se induzir ao erro, pois se baseiam em percepções humanas, além de serem demoradas. Neste sentido, a

---

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Universidade de Gurupi (UNIRG), Av. Rio de Janeiro, Nº 1585, St. Central, Gurupi - TO, CEP: 77403-090. E-mail: [fabiopegoraro@unirg.edu.br](mailto:fabiopegoraro@unirg.edu.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0715-0867>

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Paraná (UFPR), R. XV de Novembro, 1299, Centro, Curitiba - PR, CEP: 80060-000. E-mail: [portela@ufpr.br](mailto:portela@ufpr.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3075-9184>

<sup>3</sup> Doutor em em Systèmes Industriels pela Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), França. Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), R. XV de Novembro, 1299, Centro, Curitiba - PR, CEP: 80060-000. E-mail: [eduardo.freitas@pucpr.br](mailto:eduardo.freitas@pucpr.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1963-6186>

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), R. XV de Novembro, 1299, Centro, Curitiba - PR, CEP: 80060-000. E-mail: [ferwlaus@gmail.com](mailto:ferwlaus@gmail.com) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7066-5599>

mineração de processos contribuiu com a construção do modelo de simulação do ps estudado por meio da descoberta do processo real e dos dados históricos dos pacientes registrados no log de eventos. Por meio da mineração de processos, empregou-se pouco esforço de modelagem conceitual para o modelo de simulação, o que pode contribuir para encorajar o uso da simulação em ambientes hospitalares.

**Palavras-chave:** Simulação. Mineração de Processos. Pronto Socorro. Tomada de Decisões.

### **Abstract**

A Emergency Department (ED) faces random demands of patients with different needs what you can contribute to your overcrowded. So, this study conceived a support framework for decision making in ed management. Framework integrates simulation techniques supported by process mining. Simulation was used in the work as it contributes to capturing the random and complexity of the flow of patients in the ed and supports the decision-making process. However, the data for feeding a simulation model are generally collected manually from time timing between the arrivals of patients in the ED, time to perform triage, interviews with specialists, etc. However, only use these collection techniques can be induced to error, because they are based on human perceptions, in addition to be delayed. In this sense, process mining contributed to the construction of the model of simulation of the studied ed by discovering the real process and the historical data of patients registered in the log of events. Through the process mining, a little effort of conceptual modeling for the simulation model was employed, which could contribute to encourage the use of simulation in hospital environments.

**Keywords:** Simulation. Process Mining. Emergency Department. Decision-Making.

## **Introdução**

Em um Pronto Socorro (PS) de um hospital, os gestores convivem com demandas aleatórias de complexidade de saúde de pacientes. Isso aliado às restrições orçamentárias e forte interação entre os processos hospitalares, faz com que a gestão da capacidade de atendimento de emergência desempenhe um papel estratégico na recuperação da saúde do paciente. Diante deste contexto, os gestores hospitalares estão pressionados pela melhoria da qualidade das suas decisões (ESKANDARI et al., 2011, VANBRABANT et al., 2019, PEGORARO et al., 2020b).

O processo de tomada de decisão na gestão de um PS é usualmente complexo e requer métodos e técnicas que possam auxiliar os tomadores de decisão em selecionar ações mais

eficazes e que contemplem de forma mais adequada o problema em que se está estudando. Sendo assim, a avaliação de uma intervenção na gestão do PS antes da sua implementação real é essencial (AROUA; ABDULNOUR, 2017, PEGORARO et al., 2020a ).

Desta forma, os PSs estão aderindo à técnica de simulação devido à capacidade de considerar o tipo de chegadas estocásticas por casos de complexidade de saúde crítica de pacientes. Pode-se por exemplo, em um ambiente de PS, verificar se a inserção de mais recursos humanos e equipamentos irão contribuir significativamente para a redução do tempo de espera em fila para início do atendimento médico (PEGORARO, 2019). Assim sendo, a simulação permite que o tomador de decisão obtenha uma percepção do comportamento do sistema em relação a diferentes alternativas possíveis antes de comprometer recursos e esforços (BOCCIARELLI et al., 2014, LAJOIE et al., 2014).

Entretanto, cabe destacar que, a simulação requer esforços de modelagem e os resultados geralmente são baseados em dados estatísticos coletados manualmente através de formas tradicionais tais como: documentações, observações e entrevistas com especialistas que ajudam a entender o processo do mundo real. Sendo assim, somente utilizar essas técnicas para coleta de dados pode-se induzir ao erro, pois se baseiam na percepção humana, além de serem demoradas (ROZINAT et al., 2009a, ROZINAT et al., 2009b).

Desta forma, para abordar a simulação, o conhecimento do processo é inevitável. E para os ambientes hospitalares equipados com sistemas de informação (SI), o *log* de eventos que são informações gravadas prontamente e disponíveis nesses sistemas de forma seqüencial, pode contribuir através da mineração de processos para a construção de modelos de simulação com pouco ou nenhum esforço adicional de modelagem (ROZINAT et al., 2009a). Por tanto, a mineração de processo pode se tornar uma aliada na construção de modelos de simulação principalmente por que ela apresenta como o sistema está funcionando e não como o especialista ou gestor acredita que esteja funcionando (MANS; VAN DER AALST; VANWERSCH, 2015; REIJERS; AALST, 1999; ROZINAT et al., 2009a; ROVANI et al., 2015; VAN DER AALST, 2011; KHODYREV; POPOVA, 2014; ROZINAT et al., 2008; WYNN et al., 2007; ABO-HAMED; RAMY; ARISHA, 2017; PEGORARO et al., 2018).

A mineração de processos de forma individual já é bastante utilizada na área da saúde, e seu suporte para a construção de modelos de simulação é um campo relativamente novo de acordo com (ROZINAT et al., 2009b; KHODYREV; POPOVA, 2014; ROZINAT et al., 2008; WYNN et al., 2007, AUGUSTO et al., 2016; NAKATUMBA; WESTERGAARD; VAN DER AALST et al., 2013).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo, conceber um *Framework* que aborda a simulação suportada pela mineração de processos para atender a gestão do processo

de atendimento e tratamento de pacientes em unidades de PS. O *Framework* foi aplicado no PS de um Hospital Universitário (HU), localizado na cidade de Curitiba, Estado do Paraná.

### Framework Proposto

A abordagem está focada em realizar a simulação suportada pela mineração de processo conforme Figura 1. No entanto, por se tratar de um modelo semi-automático, é necessário obter apoio dos especialistas do processo de atendimento e tratamento de pacientes por meio de entrevistas que dará suporte à construção e validação do modelo do processo (modelo conceitual) e ao modelo computacional de simulação.

Concomitante às entrevistas com especialistas, inicia-se de fato a mineração de processos. Os dados dos pacientes são registrados e armazenados no *Hospital Information Systems* (HIS) (Sistema de Informação Hospitalar) e, a partir desses dados, um *log* de eventos é concebido, o qual precisa conter algumas informações descritas conforme Quadro 1.

<i>Tipo de Informação</i>	<i>Informação registrada no log</i>
<i>Informação do paciente</i>	<i>Identificação (case ID), nome, endereço, data de nascimento</i>
<i>Hospital</i>	<i>Nome do Hospital</i>
<i>Eventos</i>	<i>Sintomas, chegada no hospital, transporte, triagem, exame, alta, óbito.</i>
<i>Timestamp</i>	<i>Data e hora de início e fim de cada evento no log ex: início 10/05/2017 10:00hs, fim 10/05/2017 10:35</i>
<i>Transporte</i>	<i>Ônibus, samu/corpo de bombeiro, ambulância particular, veículo próprio, outros.</i>
<i>Recursos</i>	<i>Enfermeiros, médicos, cirurgiões, gestores</i>
<i>Condições do paciente</i>	<i>Pressão, temperatura, nível de oxigenação no sangue.</i>
<i>Histórico do paciente</i>	<i>Tabagismo, alcoolismo etc.</i>
<i>Cor da triagem/complexidade de tratamento</i>	<i>Vermelho, laranja, amarelo, verde, azul</i>

**Quadro 1 – Exemplo de log de eventos em um PS. Fonte: Adaptado de Alvarez et al., (2018).**

Para a realização da mineração de processos, neste estudo, pelo menos duas etapas devem ser seguidas. Na primeira é necessário se verificar a qualidade dos dados, eliminando ruídos e casos de atendimentos ao paciente incompletos. Posteriormente, com os dados organizados, os mesmos são exportados para um *software* de mineração de processos. Já na segunda etapa, são usados os algoritmos de mineração de processos para que se possa descobrir o modelo de processo que representa o melhor comportamento do processo real de atendimento e tratamento de pacientes no PS.

Desta forma, a mineração de processos irá fornecer informações como: descoberta do modelo de processo real, que neste caso, servirá como suporte à concepção do modelo conceitual de simulação. Os dados históricos dos tempos entre as chegadas dos pacientes no PS, tempo para realização de triagem do paciente etc, também são fornecidos pela mineração

de processos. Esses dados serão utilizados para se identificar as distribuições estatísticas para alimentar o modelo de simulação. Neste primeiro momento desta pesquisa, o *Framework* proposto atende apenas os pacientes que procuram atendimento no PS do HU de forma voluntária (chegam caminhando). Neste modelo não foram considerados os pacientes que chegam ao PS por meio de ambulâncias terrestres ou aéreas.

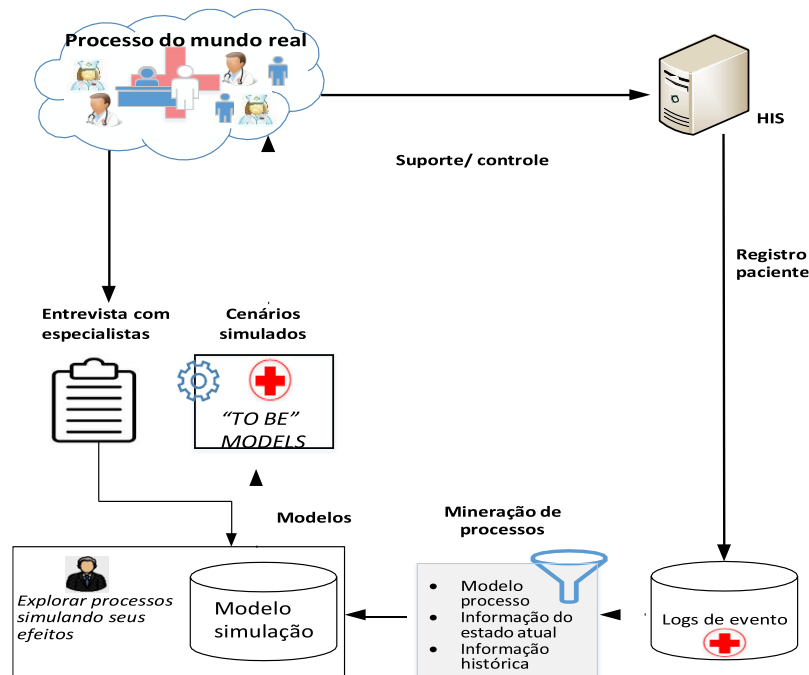


Figura 1 – Framework proposto.  
Fonte: Os autores (2019).

## Aplicação do Framework

O Framework foi aplicado no PS do HU que foi fundado em 30 de agosto de 1958 na cidade de Curitiba, Estado do Paraná. O HU é referência no atendimento às urgências e emergências médicas e atende exclusivamente aos pacientes conveniados com o Sistema Único de Saúde (SUS), que institui o incentivo para unidades hospitalares que possuem a natureza de pessoas jurídicas de direito privado sem fins lucrativos e que destinam a integralidade de seus serviços exclusivamente ao SUS.

Este estudo foi motivado pelo fato que segundo a diretoria e especialistas do HU o PS vem enfrentando problemas com superlotação, tempo elevado de permanência do paciente no PS e longas filas de espera. Esses problemas podem ocorrer pela falta de profissionais (médicos, enfermeiros etc.), infraestruturas que não suportam a demanda de pacientes e a falta de uma gestão adequada dos recursos disponíveis, o que compromete a qualidade no atendimento e tratamento ao paciente, e por sua vez, na eficiência do PS. Diante desta situação,

a diretoria encontra dificuldades em conceber ações de melhorias e tomada de decisão que remetem uma melhor performance na gestão do processo de atendimento e tratamento de pacientes. Desta forma, o presente Framework foi confeccionado.

Os dados foram obtidos por meio HIS no período de 01 de janeiro a 31 de janeiro de 2019, e representam o atendimento de 2071 pacientes, os quais compreendem apenas o atendimento do paciente no departamento da recepção e triagem de pacientes. Estes dados foram disponibilizados pelo departamento de triagem do HU no formato *Comma Separated Values* (CSV) que foram organizados para a construção do *log* de eventos no Microsoft Excel®.

Em seguida, o *log* de eventos contendo os dados dos pacientes foi exportado para o software Disco® para a realização da mineração de processos, conforme Figura 2.

Case ID	start	complete	COR DA CLASSIFICAÇÃO	PROCEDÊNCIA	FC	PA	T	SPO2	DOR	Col2	MOTIVO DA PROCURA
79	01/01/2019 00:51	01/01/2019 00:51	VERDE	PROCURA DIRETA	123	35,9	97	0			QUEIDA DE BANDO (SO CMI)
80	01/01/2019 01:20	01/01/2019 01:20	AMARELO	UPA BOA VISTA	86	132/71	36,9	98	0		TCE, TRAUMA EM COTOVELO
81	01/01/2019 01:20	01/01/2019 01:20	AMARELO	UPA BOA VISTA	99	115/66	36,9	97	0		QUEIDA DE MESMO NIVEL C
82	01/01/2019 02:41	01/01/2019 02:42	VERDE	UPA CAJURU	86		36,6	98	0		ENTORSE DE TIZ ESQ
83	01/01/2019 03:09	01/01/2019 03:09	AMARELO	PROCURA DIRETA	136	141/89	36,9	94	0		RETORNA POR TONTURA
84	01/01/2019 03:09	01/01/2019 03:09	VERDE	UPA BOA VISTA	97		36,9	96	0		ENTORSE DE JOELHO ESC
85	01/01/2019 03:38	01/01/2019 03:40	AMARELO	PROCURA DIRETA	79		36,9	91	0		FCC EM FUNHO DIR
86	01/01/2019 03:38	01/01/2019 03:38	VERDE	UPA CAJURU	73		36,9	97	0		TRAUMA EM 2º QDD
87	01/01/2019 03:43	01/01/2019 03:43	AMARELO	UPA BOA VISTA	91		36,9	96	0		FCC EM PE DIR
88	01/01/2019 04:09	01/01/2019 04:09	AMARELO	UPA CAJURU	71		36,9	95	0		OMI COM TCE, TRAUMA EM
89	01/01/2019 05:58	01/01/2019 05:58	AZUL	ambulatório							retorno com a orto
90	01/01/2019 06:24	01/01/2019 06:24	VERDE	PROCURA DIRETA	65		36,6	97	0		retorno com peratência de
91	01/01/2019 09:02	01/01/2019 09:02	VERDE	UPA CAJURU	86	X	36,4	98	0		CONTUSÃO NO BRACÇO E
92	01/01/2019 09:28	01/01/2019 09:28	VERDE								
93	01/01/2019 09:37	01/01/2019 09:37	VERDE	PROCURA DIRETA	63	132X90	36,4	98	0		RETORNA DEVIDO QUADR
94	01/01/2019 09:38	01/01/2019 09:38	VERDE	PROCURA DIRETA	72	129X89	36,4	99	0		RETORNO VIA OFTALMO
95	01/01/2019 09:40	01/01/2019 09:40	VERDE	UPA BOQUEIRÃO	73	127X88	36,4	94	0		ENCAMINHADA PARA OFTA
96	01/01/2019 10:13	01/01/2019 10:13	VERDE		73	X	36,4	98	0		QUEIDA DE MESMO NIVEL C
97	01/01/2019 10:27	01/01/2019 10:27	VERDE	PROCURA DIRETA	82	129X98	36,4	99	0		TX DE CORNEA D VESM
98	01/01/2019 10:28	01/01/2019 10:29	VERDE	PROCURA DIRETA	68	132X90	36,4	98	0		QUEIDA DE NIVEL COM TR
99	01/01/2019 10:40	01/01/2019 10:40	VERDE	PROCURA DIRETA	86	129X90	36,4	98	0		RETORNO VIA ORL
100	01/01/2019 11:09	01/01/2019 11:09	VERDE	PROCURA DIRETA	X	X	X	X	0		QUEIDA DE MESMO NIVEL C
101	01/01/2019 11:18	01/01/2019 11:18	VERDE	PROCURA DIRETA	72	129X98	35,5	99	0		CONTUSÃO NA PERNA E
102	01/01/2019 11:23	01/01/2019 11:23	AMARELO	PROCURA DIRETA	99	X	6-35,4	98	0		CONTUSÃO NA PERNA E
103	01/01/2019 11:29	01/01/2019 11:29	VERDE	PROCURA DIRETA	67	139X98	36,4	99	0		RETORNA HOJE DEVIDO Q
104	01/01/2019 11:35	01/01/2019 11:35	AMARELO	PROCURA DIRETA	65	132X94	35,4	96	0		MORDEDURA DE CAO PER

Figura 2 –Log de eventos exportado para o Disco.

Fonte: Os autores (2019).

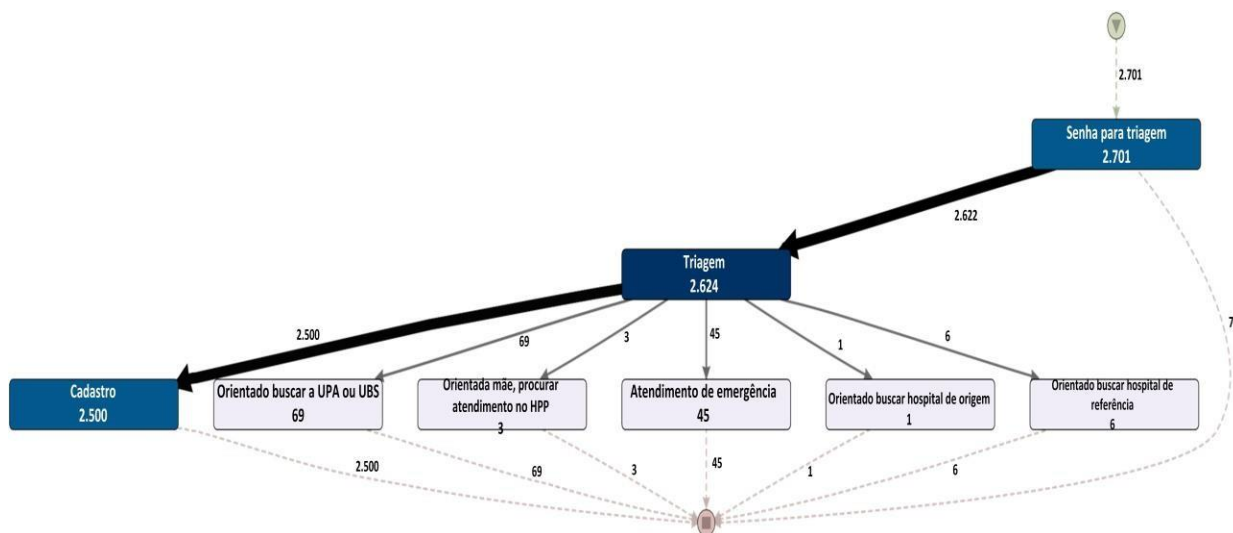
Após a organização do *log* de eventos, com o algoritmo *Fuzzy Miner* de mineração de processos, foi possível descobrir o modelo real do atendimento ao paciente, conforme Figura 3. Uma rede causal simples foi definida, a qual representa as atividades e as relações do processo de atendimento aos pacientes na chegada ao PS, cadastro e triagem.

Assim, o processo principal é representado pelas atividades que são ligadas pelos arcos evidenciado pelas setas mais grossas que consistem em: **Senha para triagem** → **Triagem (2.622)**, **Triagem** → **Cadastro (2.500)**.

Os números entre parênteses significam a quantidade de pacientes em transição de uma atividade para outra. Saliente-se também que, na Triagem, os pacientes podem ser direcionados para outras atividades sem ser o cadastro, tais como: "Orientado buscar a UPA (Unidade de Pronto Atendimento) ou UBS (Unidade Básica de Saúde)", "Orientada Mãe, procurar atendimento no HPP (Hospital Pequeno Príncipe)", "Atendimento de emergência (que neste caso, são os pacientes identificados na triagem que estão em estado de urgência e



emergência)", "Orientado buscar hospital de origem" e "Orientado buscar hospital de referência". 77 pacientes também estão deixando o PS sem serem atendidos (*Senha para triagem* → *Fim* (77)).



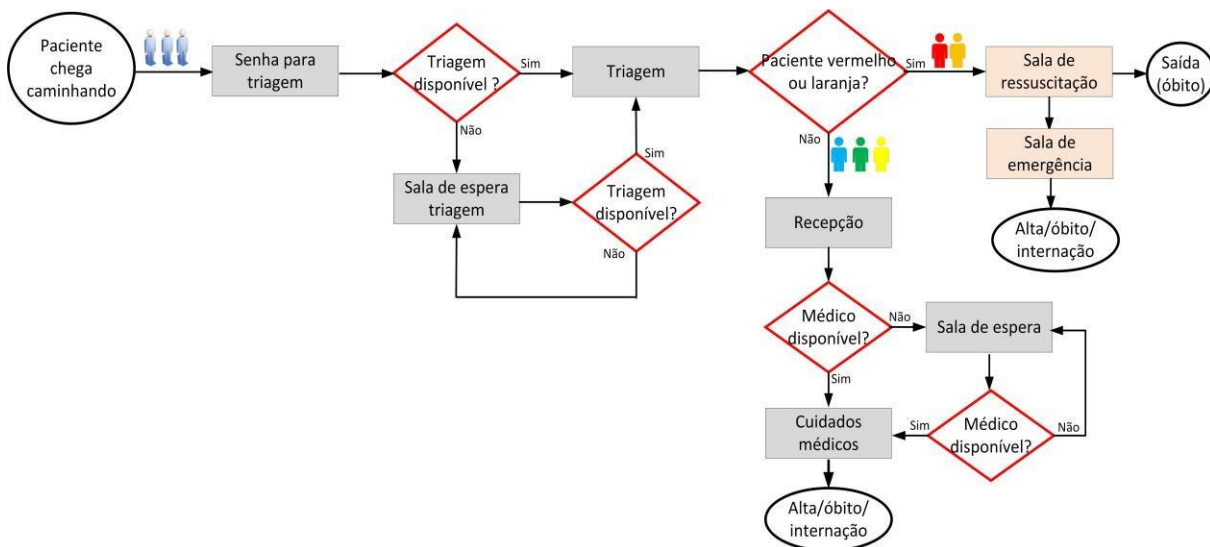
**Figura 3 – Modelo do processo real descoberto pela mineração de processos.**  
 Fonte: Os autores (2019).

A partir da definição do modelo real do atendimento ao paciente suportado pela mineração de processos, e por meio das entrevistas realizadas com os especialistas, foi obtido o modelo conceitual de simulação do PS do HU, que representa a sequência das atividades dos pacientes que chegam sozinhos, conforme Figura 4.

No PS do HU há duas formas distintas de chegada de pacientes. Uma é caracterizada pelos pacientes que são considerados "pacientes em emergência" e chegam através de ambulâncias terrestres ou aéreas e que não foi considerada neste trabalho. Já a outra forma, o paciente chega caminhando sozinho ou acompanhado ao PS de forma voluntária.

O fluxo de atividades do processo de atendimento ao paciente que chega caminhando ao PS (procura o PS de forma voluntária) segue da seguinte forma: O paciente chega, se dirige a recepção e retira uma senha e aguarda em uma sala de espera para ser triado. Quando a senha do paciente é chamada que depende da disponibilidade da equipe de triagem, o paciente se dirige até uma sala onde o mesmo é avaliado por um enfermeiro da triagem. Com base na condição de saúde do paciente através da avaliação pelo enfermeiro da triagem, cada paciente recebe uma prioridade no atendimento no PS de acordo com o Manchester Triagem System (MTS) ou Protocolo de Manchester. Uma vez que a prioridade é atribuída ao paciente, e constatando uma prioridade alta (Vermelho ou Laranja) o mesmo já é admitido para a sala de ressuscitação do PS onde os médicos realizam os primeiros procedimentos. Caso contrário (Amarelo, Verde ou Azul) o paciente se dirige para a recepção para realização de um cadastro.

Após o cadastro, o paciente aguarda em uma sala de espera até que um médico esteja disponível em uma área de tratamento apropriada com base nas necessidades de cuidados de cada paciente, ou seja, o paciente triado com a cor amarela tem prioridade sob o verde e o verde tem prioridade sob o azul.



**Figura 4 – Modelo conceitual do PS do HU.**

Fonte: Os autores (2019).

Deste modo, a Tabela 1 apresenta a classificação de risco para os pacientes que chegam sozinhos no PS, como também, os tempos adequados para o início do tratamento médico a partir do momento da admissão do paciente no PS de acordo com o MTS. Vale salientar que, os dados da Tabela 1 foram obtidos por meio da mineração de processos em conjunto com o conhecimento dos especialistas para validação destas informações.

Classificação por cor	Porcentagem de pacientes atendidos	Tempos de espera estabelecidos pelo MTS
Verde	63.87%	120 min
Amarela	20.76%	60 min
Azul	13.67%	240 min
Laranja	1.66%	10 min
Vermelha	0.04%	0 min
Total	100%	

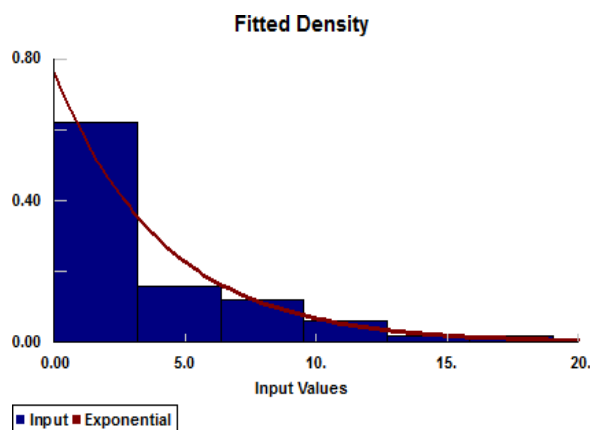
**Tabela 1 - Classificação de risco para pacientes tratados no PS e os tempos para atendimento definido pelo MTS.**

Fonte: Os autores (2019).

A análise dos dados obtidos por meio da mineração de processos é usada para identificar as distribuições estatísticas mais adequadas para representarem a aleatoriedade dos dados, já que ficam registrados no *log* de eventos os *timesteps* com a data e hora de início e

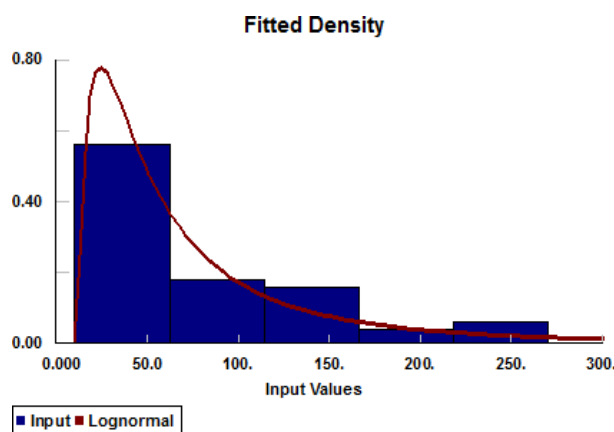


fim de cada evento. A título de exemplo, usou-se as taxas de chegada de pacientes que chegam sozinhos no PS. Uma taxa compreende o tempo entre 7:00hs às 23:00hs (ver figura 5a) e a outra taxa entre 23:00hs às 7:00hs (ver figura 5b). As taxas de chegadas foram divididas para representar de forma mais adequada o fenômeno aleatório entre as chegadas dos pacientes no PS, as quais foram determinadas e validadas pelo teste de aderência *Kolmogorov Smirnov* (KS), com nível de significância de 5%. Desta forma, a taxa de pacientes que entram no PS entre as 07:00hs e as 23:00hs horas segue uma distribuição exponencial com um tempo médio de 4,14 minutos representado pela expressão  $E(4,14)$ . Aqueles que chegam entre 23:00hs e 07:00hs seguem uma distribuição *lognormal* com o menor valor permitido de 10 minutos, média de 3,78 minutos e variância de 1,05 minutos representada pela expressão  $10. + L(3,78,1,05)$ .



**Figura 5a. Taxa de chegadas (07:00hs - 23:00hs).**

Fonte: Os autores (2019).

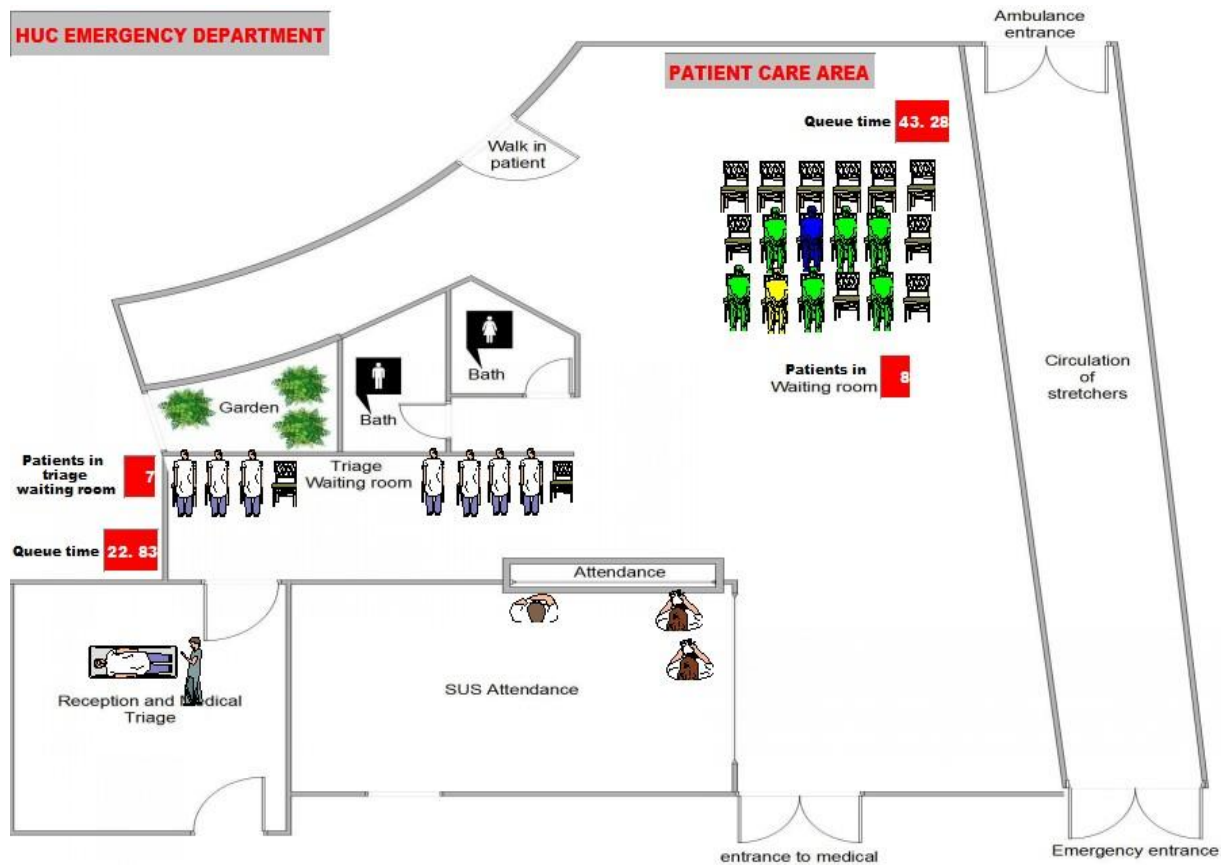


**Figura 5b. Taxa de chegadas (23:00hs - 07:00hs).**

Fonte: Os autores (2019).

O modelo de simulação computacional foi construído através do software ProModel® com a biblioteca gráfica MedModel que apresenta formas amigáveis com o ambiente da área da saúde conforme Figura 6. O modelo de simulação computacional empregado para testar as

ações de melhorias é do tipo discreto devido existir tempos específicos em determinadas situações no PS. A simulação computacional também é caracterizada como não terminante e estocástica porque o PS do HU funciona 24 horas por dia, sete dias por semana e o modelo de simulação recebe dados aleatórios como entrada, respectivamente. O tempo de aquecimento da simulação foi de 24 horas, sendo também esse o tempo escolhido para simular o PS do HU e poder comparar os resultados simulados com resultados reais como forma de validação do modelo. Já para representar uma confiança do modelo de simulação em 95%, o mesmo foi replicado 33 vezes. Fez-se uso do software Statfit para modelar as distribuições estatísticas e verificar a quantidade de replicações do modelo de simulação para representar uma confiança de 95%.

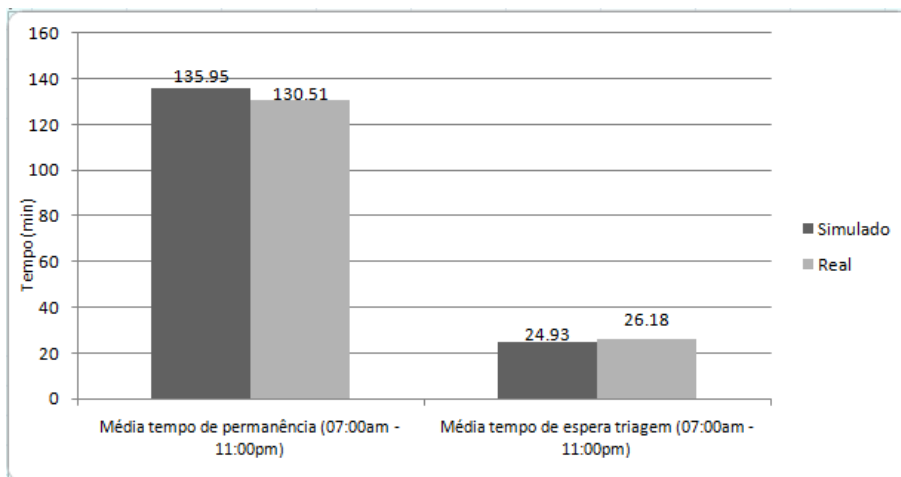


**Figura 6 – Layout do modelo de simulação computacional.**

Fonte: Os autores (2019).

A validação do modelo de simulação foi concebida com base em reuniões formais com os gestores do PS. Para este fim, a saída do modelo de simulação foi comparada com a saída do sistema real sob condições semelhantes. Para isto, utilizou-se como critério avaliar o tempo de espera para início da triagem do paciente e o tempo de permanência do paciente no PS conforme Gráfico 1. Após a avaliação do Gráfico 1, o modelo computacional foi validado como sendo adequado para representar o processo de atendimento e tratamento de

pacientes no PS do HU.



**Gráfico 1 – Validação do modelo de simulação.**

Fonte: Os autores (2019).

Com base nos resultados do modelo de simulação que representa o cenário real (cenário AS-IS) do PS do HU, mais dois cenários que testam ações de melhorias definidas pelos especialistas do processo foram derivados conforme Quadro 2.

Cenários	Ações de melhorias testadas
Cenário 1	Aumentar um enfermeiro e uma sala de triagem em horários de maior demanda de atendimento
Cenário 2	Cenário 1 e mais um médico para atender a demanda de pacientes azul e verde

**Quadro 2 – Ações de melhorias testadas pela simulação.**

Fonte: Os autores (2019).

## Resultados

As ações de melhorias testadas via simulação atenderam o período de maior demanda de pacientes no PS que compreende o período entre 07:00hs às 23:00hs conforme Tabela 2. As ações geraram efeitos significativos, reduzindo a média do tempo de espera para realização da triagem de 24,93 min para 1,3 min. Já a taxa de uso do enfermeiro reduziu-se de 83,09% para 41,75% bem como uma redução significativa do uso da sala da triagem de 83,09% para 45,67%. Essa redução da utilização do recurso humano enfermeiro pode desencadear um ambiente mais favorável para o trabalho, já que o mesmo não estará sobrecarregado. O uso da sala de espera para realização da triagem e a quantidade de pacientes esperando para serem triados também reduziram-se significativamente de 80,12% para 12,5% e 6 pacientes para 1 paciente respectivamente.

Ficou evidenciado que o cenário 1 concatenado com a adição de 1 médico, que representa o cenário 2, traz significativas mudanças para o PS. Reduziu-se a média do tempo

de espera para início do atendimento médico e a média da permanência do paciente no PS de 125,86 min e 135,95 min para 63,35 min e 73,05 min respectivamente, e com uma redução de pacientes na sala de espera de 30 para 15 pacientes. Considerando que o MTS preconiza um atendimento ao paciente pouco urgente e não urgente em até 120 min e 240 min respectivamente, esse cenário é extremamente favorável ao PS.

Efeitos	AS-IS	Cenário 1	Cenário 2
Média tempo de espera Triagem (07:00hs – 23:00hs) (min)	24,93	1,3	1,3
Média tempo de espera Triagem (23:00hs - 07:00hs) (min)	0	0	0
Taxa de uso de enfermeira (07:00hs - 23:00hs)	83,09%	41,75%	41,75%
Taxa de uso de enfermeira (23:00hs - 07:00hs)	25,47%	25,47%	25,47%
Taxa de uso da sala de triagem (07:00hs - 23:00hs)	83,09%	45,67%	45,67%
Taxa de uso da sala de triagem (23:00hs - 07:00hs)	25,47%	25,47%	25,47%
Ocupação da sala de triagem (07:00hs - 23:00hs)	80,12%	12,50%	12,50%
Ocupação da sala de triagem (23:00hs - 07:00hs)	0%	0%	0%
Média de pacientes na sala de triagem (07:00hs - 23:00hs)	6	1	1
Média de pacientes na sala de triagem (23:00hs - 07:00hs)	0	0	0
Taxa de uso da sala de espera (07:00hs - 23:00hs)	100%	100%	100%
Taxa de uso da sala de espera (23:00hs - 07:00hs)	97,15%	97,15%	97,15%
Média tempo de espera na sala de espera (07:00hs - 23:00hs) (min)	125,86	125,86	63,35
Média tempo de espera na sala de espera (23:00hs - 07:00hs) (min)	25,44	25,44	25,44
Média de pacientes na sala de espera (07:00hs - 23:00hs)	30	30	15
Média de pacientes na sala de espera (23:00hs - 07:00hs)	2	2	2
Média tempo de permanência no PS (07:00hs - 23:00hs) (min)	135,95	135,95	73,05
Média tempo de permanência no PS (23:00hs - 07:00hs) (min)	34,95	34,95	34,95

**Tabela 2 – Efeitos gerados com as ações de melhorias simuladas.**

Fonte: Os autores (2019).

### Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A mineração de processos se mostrou uma técnica satisfatória no apoio à construção do modelo de simulação, uma vez que a mesma capturou através das informações disponíveis no *log* de eventos, como o processo de atendimento e tratamento no PS do HU está sendo executado. Por meio do entendimento da execução do processo, a concepção do modelo conceitual de simulação foi facilitada, com pouca intervenção dos especialistas do processo nesta etapa. A partir dos dados dos pacientes registrados no HIS, a mineração de processos foi relevante para identificar as distribuições estatísticas dos fenômenos aleatórios evitando a coleta de forma manual, ou seja, por meio da cronometragem dos tempos entre as chegadas de pacientes no PS, tempo despendido para realização da triagem etc. Assim sendo, facilitou a análise dos fenômenos aleatórios em distintos períodos do dia, o que pode deixar o modelo de simulação mais realista.

Por sua vez, por meio da simulação, puderam-se realizar experimentos e comparar as

ações de melhorias antes de implementá-las na prática, o que contribuiu para que os experimentos que foram realizados não interferissem na operação diária do PS.

Ressalta-se que o Framework proposto foi bem recebido e aceito pelos especialistas da gestão do processo de atendimento e tratamento de pacientes no PS do HU, como sendo uma ferramenta útil para o auxílio na tomada de decisões sobre a implementação de ações de melhorias. Assim sendo, oportunidades de estudos futuros são oferecidas com o presente Framework. Neste sentido, foi recomendado pelos especialistas para se modelar outros processos de unidades hospitalares do HU que afetam o fluxo de pacientes, tais como as chegadas de emergência e os processos das cirurgias eletivas realizadas pelo HU.

### Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Fundação Araucária e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro dado à realização deste projeto, conforme (Número de identificação da concessão 88882.168715 / 2018-01).

### Referências

- ABO-HAMAD, W., RAMY, A., ARISHA, A. A hybrid process-mining approach for simulation modeling. In: **Simulation Conference (WSC), Winter**. IEEE, 2017. p. 1527-1538, 2017.
- ALVAREZ, C., ROJAS, E., ARIAS, M., MUNOZ-GAMA, J., SEPÚLVEDA, M., HERSKOVIC, V.,
- CAPURRO, D. Discovering role interaction models in the Emergency Room using Process Mining. **Journal of biomedical informatics**, 78, 60-77, 2018.
- AROUA, A., ABDULNOUR, G. Optimization of the emergency department in hospitals using simulation and experimental design: Case study. In: **Simulation Conference (WSC), 2017 Winter**. IEEE: p.4511-4513, 2017. AUGUSTO, V., XIE, X., PRODEL, M., JOUANETON, B; LAMARSALLE, L. Evaluation of discovered clinical pathways using process mining and joint agent-based discrete-event simulation. **In Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference**. p.2135-2146, IEEE Press, 2016.
- BOCCIARELLI, P., D'AMBROGIO, A., GIGLIO, A., PAGLIA, E. Simulation-Based Performance And Reliability Analysis Of Business Processes. **In: Proceedings Of The 2014 Winter Simulation Conference**: Piscataway, Nj, Usa. Ieee Press, p. 3012–3023, 2014.
- ELDABI, T; IRANI, Z; PAUL, R. J. A proposed approach for modelling health-care systems for understanding. **Journal of Management in Medicine**, v. 16, n. 2/3, p. 170-187, 2002.
- ESKANDARI, H., RIYAHIFARD, M., KHOSRAVI, S., GEIGER, C. D. Improving the

- emergency department performance using simulation and MCDM methods. **In Proceedings of the Winter Simulation Conference.** p. 1211-1222. Winter Simulation Conference. 2011.
- KHODYREV, I., POPOVA, S. Discrete modeling and simulation of business processes using event logs. **Procedia Computer Science**, 29, p.322-331, 2014.
- LAJOIE, P., GAUDREAU, J., LAVOIE, V., KENDALL, J. Using Simulation To Assess The Performance Of A Breakthrough Wood-Drying Technology. **In: Proceedings Of The 2014 Winter Simulation Conference:** Piscataway, Nj, Usa. Ieee Press, p. 4158–4159, 2014.
- MANS, R.S., VAN DER AALST, W.M.P., VANWERSCH, R.JB. **Process mining in healthcare:** evaluating and exploiting operational healthcare processes. Heidelberg: Springer, 2015.
- NAKATUMBA, J., WESTERGAARD, M., VAN DER AALST, W.M.P. Generating event logs with workload- dependent speeds from simulation models. **In: International Conference on Advanced Information Systems Engineering.** Springer, Berlin, Heidelberg, p. 383-397, 2012.
- PEGORARO, F. Alternativas para redução do tempo de espera por atendimento de urgência e emergência em um hospital público no município de Gurupi–TO. **RANK, RCIC; XAVIER, MP; MATTOS, P; H; C. Território de Desenvolvimento Regional: Abordagem Multidisciplinar da Região Sul do Tocantins. Goiânia (GO): Kelps,** 2019.
- PEGORARO, F., SANTOS, E. A. P., LOURES, E. D. F. R., DA SILVA DIAS, G., DOS SANTOS, L. M.,
- COELHO, R. O. Short-Term Simulation in Healthcare Management with Support of the Process Mining. **In: World Conference on Information Systems and Technologies.** Springer, Cham, p. 724-735, 2018.
- PEGORARO, F., SANTOS, E. A. P., LOURES, E. D. F. R., LAUS, F. W. A hybrid model to support decision making in emergency department management. **Knowledge-based systems**, v. 203, p. 106148, 2020a.
- PEGORARO, F., SANTOS, E. A. P., LOURES, E. D. F. R. A support framework for decision making in emergency department management. **Computers & industrial engineering**, v. 146, p. 106477, 2020b.
- REIJERS, H. A; VAN DER AALST, W.M.P. Short-term simulation: bridging the gap between operational control and strategic decision making. **In Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling and Simulation** (pp. 417-421), 1999.
- ROVANI, M., MAGGI, F. M., DE LEONI, M., VAN DER AALST, W. M. P. Declarative process mining in healthcare. **Expert Systems with Applications**, 42(23), 9236-9251, 2015.
- ROZINAT, A., WYNN, M.T., VAN DER AALST, W.M.P., TER HOFSTEDÉ, A. H., FIDGE, C. J. Workflow simulation for operational decision support. **Data & Knowledge Engineering**, 68(9), 834-850, 2009a. ROZINAT, A., MANS, R. S., SONG, M., VAN DER AALST, W.M.P. Discovering simulation



models. **Information systems**, 34(3), 305-327, 2009b.

ROZINAT, A., WYNN, M., VAN DER AALST, W.M.P., TER HOFSTEDÉ, A. H., FIDGE, C. J. Workflow

simulation for operational decision support using design, historic and state information. **In International Conference on Business Process Management**. (pp. 196-211). Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

VANBRABANT, L., BRAEKERS, K., RAMAEKERS, K., VAN NIEUWENHUYSE, I. Simulation of

emergency department operations: a comprehensive review of KPIs and operational improvements. *Computers & Industrial Engineering*, 2019.

VAN DER AALST, W.M.P. **Process Mining – discovery, conformance and enhancement of business processes**. Springer, 2011.

WYNN, M. T; DUMAS, M; FIDGE, C. J; TER HOFSTEDÉ, A. H; VAN DER AALST, W.M.P. Business

process simulation for operational decision support. **In International Conference on Business Process Management** (pp. 66-77). Springer, Berlin, Heidelberg. 2007.

Submetido em: 24.03.2023

Aceito em: 26.04.2023