



SIMULAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE MAQUEIROS: MELHORIAS NO FLUXO DE PACIENTES EM UM HOSPITAL PÚBLICO EM FEIRA DE SANTANA

Simulation applied to stretcher management: improvements in patient flow in a public hospital in Feira de Santana

Simulación aplicada a la gestión de camilleros: mejoras en el flujo de pacientes en un hospital público en Feira de Santana

Eduardo Abreu Batista Cerqueira^{1*}, Andressa Clara Barbosa de Araujo², & Cristiane Agra Pimentel³

^{1,3} Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade

² Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica

^{1*} eduu_abreu@hotmail.com ² andressaaraujo@ufba.com.br ³ cristianepimentel@ufrb.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 28.12.2024

Aprovado: 19.08.2025

Disponibilizado: 05.09.2025

PALAVRAS-CHAVE: Simulação hospitalar, Gestão hospitalar, Saúde 4.0, Transporte de Pacientes.

KEYWORDS: Hospital Simulation, Hospital Management, Health 4.0, Patient transportation.

PALABRAS CLAVE: Simulación Hospitalaria, Gestión Hospitalaria, Salud 4.0, Transporte de pacientes.

*Autor Correspondente: Cerqueira, E. A. B.

RESUMO

O estudo aborda o uso de tecnologias 4.0 na saúde, com foco na aplicação de simulação para otimizar o fluxo de trabalho dos maqueiros, uma área pouco explorada. A eficiência desse fluxo é essencial para o transporte seguro de pacientes, impactando diretamente a qualidade do atendimento e a gestão de recursos hospitalares. O objetivo foi utilizar a simulação para melhorar o fluxo dos maqueiros em um hospital público de Feira de Santana especializado em atenção materno-infantil, reduzindo tempos de espera e otimizando deslocamentos. A pesquisa descritiva permitiu modelar cenários atuais e futuros com o software FlexSim 24.0.4, com coleta de dados entre junho e outubro de 2024, no turno de maior demanda. No cenário atual, um maqueiro percorreu 4,10 km por turno, enquanto no cenário futuro com dois maqueiros as distâncias foram reduzidas para 2,67 km e 2,58 km, respectivamente. Houve diminuição do tempo de deslocamento e aumento do tempo disponível para atendimento, melhorando a eficiência operacional. A simulação demonstrou ser uma ferramenta eficaz para otimização logística, contribuindo para a qualidade do atendimento e melhores condições de trabalho. Esses resultados evidenciam o potencial da metodologia para aplicação em outras áreas hospitalares.

ABSTRACT

The study explores the use of Industry 4.0 technologies in healthcare, focusing on simulation to optimize stretcher-bearer workflows, a relatively underexplored area. Efficient workflows are crucial for the safe transport of patients, directly impacting care quality and hospital resource management. The objective was to use simulation to improve stretcher-bearer workflows in a public hospital in Feira de Santana specializing in maternal and childcare, reducing wait times and optimizing movements. This descriptive research modeled current and future scenarios using FlexSim 24.0.4 software, with data collected from June to October 2024 during the busiest shifts. In the current scenario, a single stretcher-bearer covered 4.10 km per shift, whereas, in the future scenario with two stretchers-bearers, distances decreased to 2.67 km and 2.58 km, respectively. Travel times were reduced, and time available for patient care increased, enhancing operational efficiency. Simulation proved to be an effective tool for logistics optimization, improving care quality and working conditions. These findings highlight the methodology's potential for application in other hospital areas.

RESUMEN

El estudio aborda el uso de tecnologías 4.0 en salud, enfocándose en la aplicación de simulación para optimizar el flujo de trabajo de los camilleros, un área poco explorada. La eficiencia de este flujo es esencial para el transporte seguro de pacientes, impactando directamente en la calidad de la atención y la gestión de recursos hospitalarios. El objetivo fue utilizar la simulación para mejorar el flujo de los camilleros en un hospital público de Feira de Santana especializado en atención materno-infantil, reduciendo tiempos de espera y optimizando desplazamientos. La investigación descriptiva permitió modelar escenarios actuales y futuros con el software FlexSim 24.0.4, con recolección de datos entre junio y octubre de 2024, en el turno de mayor demanda. En el escenario actual, un camillero recorrió 4,10 km por turno, mientras que en el escenario futuro con dos camilleros las distancias se redujeron a 2,67 km y 2,58 km, respectivamente. Hubo una disminución del tiempo de desplazamiento y un aumento del tiempo disponible para la atención, mejorando la eficiencia operativa. La simulación demostró ser una herramienta eficaz para la optimización logística, contribuyendo a la calidad de la atención y mejores condiciones laborales.



INTRODUÇÃO

O setor da saúde tem passado por grandes transformações impulsionadas pelos avanços tecnológicos. A evolução das tecnologias em saúde tem buscado aprimorar o atendimento, o diagnóstico, o tratamento de pacientes e a gestão logística hospitalar. A Saúde 4.0 representa um novo patamar nessa evolução, incorporando tecnologias características da indústria 4.0, como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e simulação (Ciasullo et al., 2022; Krishnamoorthy et al., 2023). A simulação, inicialmente aplicada na Indústria 4.0 para otimizar processos produtivos (Abreu et al., 2017; Randon & Cecconello, 2019), foi adaptada à área da saúde, oferecendo um ambiente virtual para testar e validar cenários hospitalares sem interferir no mundo real (Sun et al., 2022). Hospitais brasileiros como o Albert Einstein já utilizam a simulação para otimizar fluxos de pacientes, dimensionar equipes, recursos e gerir o hospital como um todo, comprovando o potencial da ferramenta (Silva et al., 2020).

Mesmo com os grandes avanços na aplicação da simulação em diversos contextos hospitalares, como a aplicação da tecnologia na gestão de leitos, no fluxo de pacientes e até em emergências e otimização de laboratórios (Oliveira et al., 2024; Werner et al., 2019; Ahmad et al., 2020), é possível perceber a escassez de trabalhos na literatura quanto à sua aplicação específica na análise e otimização do fluxo de trabalho dos maqueiros. A maioria dos estudos concentra-se em fluxos mais amplos de pacientes, sem detalhar o transporte interno realizado pelos maqueiros.

A eficiência no fluxo de maqueiros é crucial para o funcionamento adequado de um hospital. O transporte ágil e seguro de pacientes entre diferentes setores, como trajetos realizados saindo de centros cirúrgicos, enfermarias e unidades de diagnóstico, impacta diretamente na qualidade do atendimento e no tempo de permanência, especialmente em casos de emergência. Um manejo inadequado dos pacientes realizado pelos profissionais de transporte hospitalar pode gerar atraso nos atendimentos, comprometer a segurança dos pacientes e até mesmo ser prejudicial para o próprio colaborador do hospital, afetando a qualidade da assistência e a experiência do paciente (Ahmad et al., 2020). A simulação pode ser uma ferramenta poderosa para analisar, modelar e otimizar esse fluxo, permitindo identificar gargalos, testar diferentes cenários e implementar melhorias sem riscos para os pacientes.

Este estudo visa explorar como a simulação pode ser aplicada para melhorar o fluxo de trabalho dos maqueiros em um hospital. Espera-se que os resultados contribuam para um atendimento mais rápido e eficiente, melhorem as condições de trabalho dos maqueiros e, consequentemente, aumentem a satisfação dos pacientes.

REFERENCIAL TEÓRICO

Evolução das tecnologias 4.0 em saúde ao longo dos anos

À medida que surgem novas tecnologias e mudam os métodos, o setor da saúde também participa nesta mudança. Apesar do surgimento de inovações para facilitar a resolução de problemas de diversas formas, o setor da saúde ainda carece da introdução de novas tecnologias, especialmente para a gestão hospitalar (Chao & Wen, 2021). A simulação permite modelar situações de transporte em um hospital para analisar variáveis críticas como tempo de transporte, segurança do paciente e disponibilidade de recursos. Adaev e Vetrova (2023) destacam o uso de ferramentas de visualização e simulação para resolver problemas de otimização em sistemas de transporte, incluindo gestão de tráfego. Este método pode ser



CC BY 4.0
DEED
Attribuição 4.0
Internacional

utilizado em ambientes hospitalares onde a simulação proporciona melhorias no transporte de pacientes, reduz riscos e otimiza o uso de equipamentos médicos. Uma abordagem visual "multiagente" pode ser usada para controlar o fluxo de pacientes e equipamentos médicos, otimizando assim a alocação de recursos e reduzindo os tempos de resposta.

Santana et al. (2021) focaram na criação e validação de um cenário de simulação para treinar o transporte hospitalar de pacientes críticos. A simulação clínica é uma ferramenta educacional que permite aos profissionais de saúde praticar e melhorar as suas competências num ambiente controlado e seguro. O método Delphi utilizado para validar as simulações garante que as simulações sejam baseadas em evidências e relevantes para a prática clínica atual.

Este tipo de simulação clínica representa apenas um dos primeiros passos na integração tecnológica na área da saúde, que continua avançando rapidamente. As inovações nos sistemas de saúde não podem ser evitadas e há uma necessidade crescente de tecnologias para acrescentar valor aos cuidados e melhorar a experiência do paciente. Este é o estado da Saúde 4.0 (Krishnamoorthy et al., 2023), uma revolução que incorpora muitas tecnologias líderes como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, big data e simulação com o objetivo de personalizar o tratamento, otimizar recursos e evitar erros.

Saúde 4.0 e Lean Healthcare

A revolução da Saúde 4.0 está impulsionando a transformação do setor da saúde ao combinar tecnologias como a IA, a IoT, *big data* e simulação. Essas tecnologias visam melhorar o cuidado, otimizar recursos e prevenir erros, permitindo assim um atendimento mais eficiente e centralizado ao paciente (Tlapa et al., 2022b).

A eliminação de atividades não produtivas no processo clínico promove um ambiente mais produtivo e seguro (Mazzocato et al., 2010). A integração das tecnologias 4.0 e a filosofia *Lean* aprimora esta abordagem ao combinar ferramentas digitais para permitir análises precisas e oportunas de procedimentos hospitalares (Javaid et al., 2024; Tortorella et al., 2020). Foi demonstrado que a tecnologia e a integração dela (como simulação e automação) podem aumentar a eficiência do tratamento, encurtar a internação hospitalar e melhorar a utilização de recursos (Dossou et al., 2020; Tlapa et al., 2022a).

A simulação tem sido usada para simular diversas situações em hospitais para identificar soluções eficazes sem alterações físicas imediatas (Buer et al., 2021). Reside na necessidade de responder a necessidades crescentes, tratamentos complexos e recursos escassos (Nascimento Neto et al., 2020). Tecnologias 4.0, como a simulação, permitem a criação de modelos virtuais para testar e validar diferentes cenários, aumentar a eficiência, prever necessidades de recursos e melhorar a tomada de decisões. Estas tecnologias, quando combinadas com estratégias de saúde enxutas para eliminar desperdícios e melhorar processos (Tlapa et al., 2020c), auxiliam nos cuidados de qualidade e serviços.

Simulação na saúde

Simulação é uma técnica que utiliza modelos computacionais para representar sistemas reais a fim de analisar seu comportamento em diferentes situações (Banks, 1998). Na área da saúde, a simulação tem sido utilizada em diversas áreas, como gestão de leitos, fluxo de pacientes em emergências, dimensionamento de equipes, otimização laboratorial e

planejamento cirúrgico (Lopes et al., 2024; Oliveira et al., 2024). Softwares especializados utilizados na área da saúde, como o *FlexSim HC (HealthCare)*, auxiliam na modelagem do ambiente hospitalar para analisar o fluxo, recursos e processos dos pacientes (*Flexsim*, 2024).

A proposta é que possa ser aplicado não só à gestão hospitalar, mas a muitas outras áreas médicas, como a educação e formação de profissionais de saúde, para que possa ser feito num ambiente virtual seguro e controlado. A crescente disponibilidade de dados, o desenvolvimento de computadores mais inteligentes e a integração com outras tecnologias, como a inteligência artificial, a Internet das Coisas e a aprendizagem de máquina, irão expandir as suas áreas de aplicação. Espera-se que as simulações possam ser utilizadas não apenas para otimizar procedimentos existentes, mas também para projetar novos hospitais e planejar a distribuição de recursos em situações de crise, como epidemias, e personalizar o atendimento aos pacientes (Garcia, 2021).

METODOLOGIA

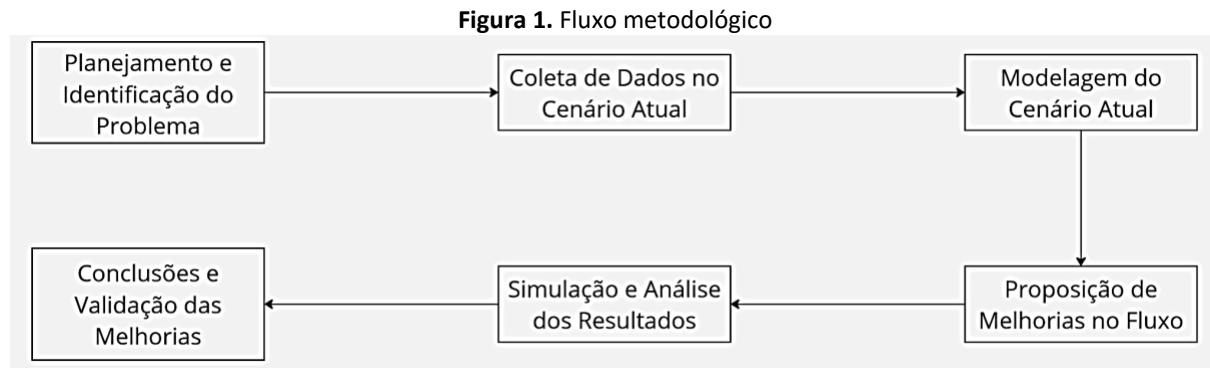
O presente estudo foi conduzido em um Hospital Público de Feira de Santana, Bahia, Brasil, que presta atendimento a gestantes e oferece serviços de apoio à maternidade. O estudo tem caráter exploratório e descritivo, com variáveis quantitativas e segue uma metodologia de pesquisa-ação, pois, por meio dela, o pesquisador assume que processos sociais complexos são mais bem estudados quando mudanças são introduzidas e os efeitos dessas mudanças são observados (Bunder & Barros, 2019).

A pesquisa focou no transporte de pacientes, principalmente mulheres em trabalho de parto, dos Centros Obstétricos (COs) até as enfermarias do hospital, considerando o turno de maior demanda que, após analisar diversos relatórios internos, foi considerado o turno das 12h00 às 23h59. Para compreender os fluxos e identificar gargalos no transporte, foi elaborado um fluxograma de processos, com foco nas atividades realizadas pelos maqueiros. Durante o período de estudo, que se estendeu de junho a outubro de 2024, foram coletados os tempos necessários para a execução dessas atividades. Uma das principais perdas identificadas foi o elevado tempo médio de transporte, gerando atrasos no atendimento das pacientes.

Com base nos dados levantados, o sistema produtivo foi modelado em um *software* de simulação computacional *FlexSim*, versão 24.0.4. A metodologia utilizada foi a simulação discreta com variáveis determinísticas, na qual eventos são simulados em momentos específicos, representando mudanças de estado no sistema (Santos, 2023). Essa abordagem permitiu a análise detalhada do fluxo atual e a projeção de melhorias no processo.

Com isso, foram determinados indicadores próprios do *software* para a análise de dados, sendo eles: o diagrama de espaguete, denominado *Heat Map*, que permitiu mapear o deslocamento dos maqueiros; o *AVG Distance*, que calculou a distância simulada percorrida entre os setores; e o *AVG State*, que analisou as ações que geram valor, demonstrando o percentual das atividades realizadas no fluxo. A última métrica mostra o tempo que o maqueiro passa em movimento, o tempo em que está parado e o tempo destinado à ação que efetivamente gera valor. O *AVG State* foi dividido em duas variáveis principais: Neste caso, *In Transit* indica quando o maqueiro está em deslocamento e o *Providing Care*, que é quando a ação está sendo executada, ou seja, agregando valor (neste estudo, o transporte efetivo das

pacientes). Com base nessas informações, foi possível mapear o fluxo metodológico do estudo (Figura 1)



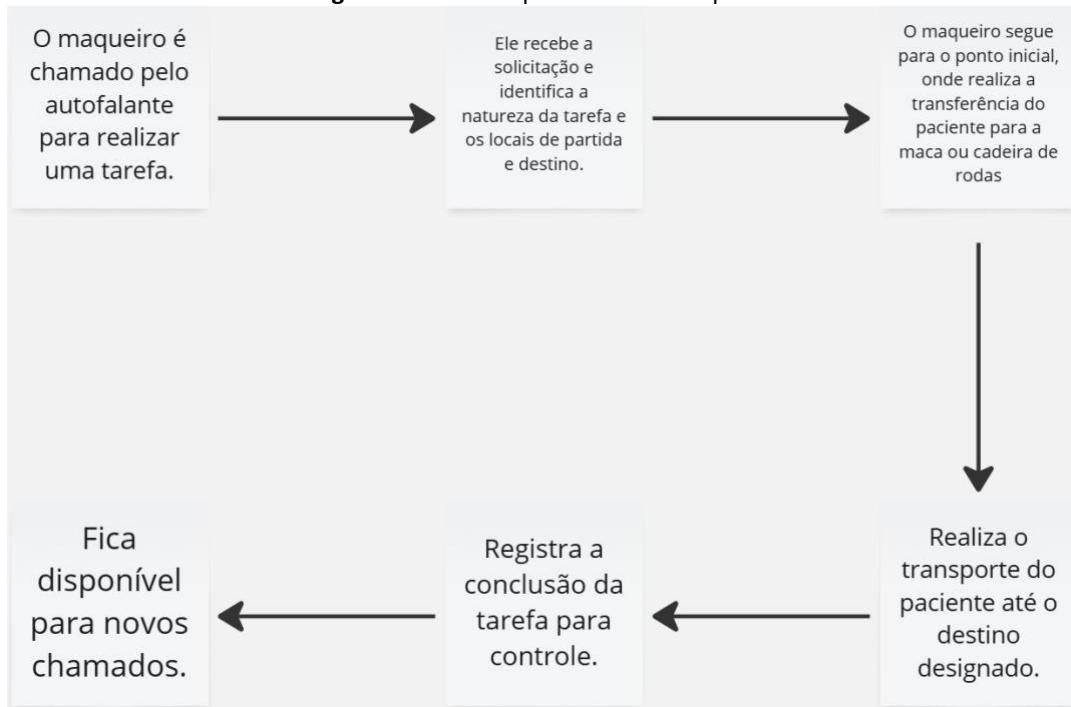
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapeamento do processo e identificação de oportunidades

Durante quatro meses, de junho a outubro de 2024, foram realizadas pesquisas, apresentação e análise das atividades dos maqueiros em hospitais públicos especializados em maternidade e assistência infantil de Feira de Santana, Bahia. O objetivo foi identificar possíveis gargalos no processo e propor melhorias. O fluxo de trabalho (Figura 2) começa quando o maqueiro é chamado via autofalante para realizar uma tarefa, o que geralmente está associado ao transporte de pacientes no trabalho. Após a ligação, o maqueiro recebe a solicitação e identifica o ponto de partida e o ponto de transporte. Em seguida, ele segue para o ponto inicial, onde realiza a transferência do paciente para a maca ou cadeira de rodas. O transporte é fornecido até o destino do paciente dentro do hospital. Por fim, o maqueiro registra o trabalho concluído e fica disponível para novos chamados.

Figura 2. Fluxo dos processos do maqueiro



Fonte: Autores.

Durante o estudo, constatou-se que o fluxo pode atrasar no período de pico de demanda, afetando a eficiência do transporte e o tempo de resposta do serviço. Uma análise detalhada permitiu considerar melhorias para aumentar as viagens e reduzir os tempos de espera.



CC BY 4.0
Attribution 4.0
International

Modelagem dos fluxos no simulador

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta do ambiente hospitalar, entrevistas com maqueiros e gestores e análise de relatórios internos, como registros de encaminhamentos de pacientes. Essa abordagem facilita a identificação das tarefas executadas, dos tempos normais do processo e dos principais métodos utilizados. As informações coletadas foram importantes para traçar o trabalho atual e estabelecer uma base sólida para o modelo. O processo reflete a filosofia *Lean*, que requer uma compreensão profunda do valor atual antes que melhorias possam ser feitas.

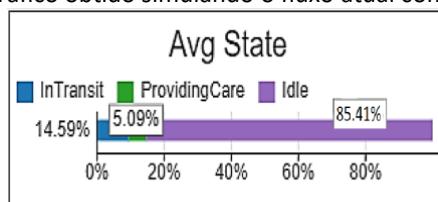
A partir dos dados obtidos, a planta do hospital é inserida no modelo de simulação, utilizando os recursos gráficos 3D disponibilizados no software para configurar áreas como maternidade, locais e caminhos. A partir daqui é possível traçar o trecho atual e projetar melhorias para cenários futuros. O processo de adaptação é introduzido em ambiente virtual baseado nas condições reais do hospital para possibilitar uma análise comparativa no simulador. Esta etapa é importante para identificar desperdícios como movimentações desnecessárias.

Para preparar cada etapa do simulador, foi inserido o tempo associado a atividades como movimentação e posicionamento do paciente a partir dos dados coletados. Seguindo essas classificações, são incluídas no modelo gráficos que representam eventos atuais e futuros. A simulação foi então configurada para simular o período de um turno completo de trabalho (foi considerado o turno de maior demanda 12h00 - 23h59).

O gráfico *AVG State* fornecido pelo simulador (Figuras 3 e 4) é usado como medida primária de desempenho. Mostra o percentual de tempo gasto pelos maqueiros em diferentes atividades, dividido em duas variáveis principais: *In Transit* (% do tempo de deslocamento), *Providing Care* (% do tempo trabalhando diretamente com os pacientes) e *Idle* (porcentagem de tempo “livre”). Este tipo de análise permite determinar onde se perde tempo, o que é importante para implementar a melhoria contínua.

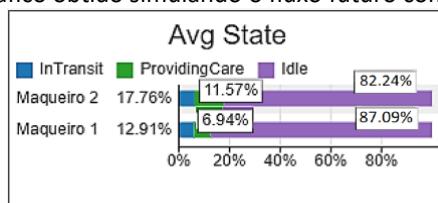
Para modelar a situação futura, a principal mudança prevista é a inclusão de um novo maqueiro, cuja alocação já está sendo planejada em conjunto com a direção do hospital, no turno de maior demanda, para que possa ajudar os pacientes a se deslocarem, o que reduz o tempo de espera, o trabalho em equipe e, consequentemente, garante uma maior a segurança para os pacientes.

Figura 3. Gráfico obtido simulando o fluxo atual com 1 maqueiro



Fonte: Autores.

Figura 4. Gráfico obtido simulando o fluxo futuro com 2 maqueiros

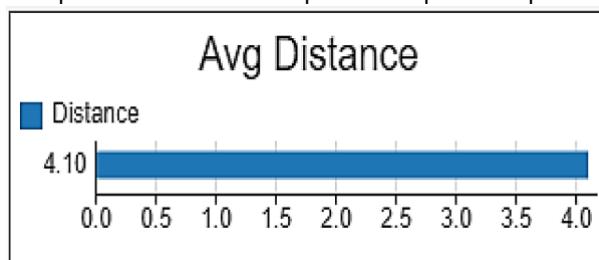


Fonte: Autores.

As Figuras 3 e 4 mostram uma comparação entre o percentual de tarefas executadas pelos colaboradores, mostrando que até o momento (Figura 3) aproximadamente 5,10% da carga de tempo do maqueiro é gasta em tarefas de valor agregado (*Providing Care*). No fluxo de Futuro (Figura 4), as atividades de valor agregado aumentaram significativamente, representando 11,57% das atividades do maqueiro 2 e 6,94% das atividades do maqueiro 1. Isto significa tempos de viagem reduzidos e maiores horas de serviço no futuro. Essas melhorias indicam maior eficiência e equilíbrio na carga de trabalho dos maqueiros, alinhando-se com o objetivo da filosofia *lean* de maximizar o valor para o paciente.

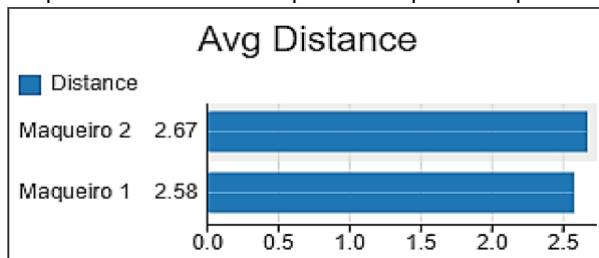
Outra análise relacionada envolve deslocamentos extensos durante o transporte do paciente. Para avaliar se esses deslocamentos diminuirão no futuro, foram utilizados gráficos para representar a distância percorrida em metros pelos maqueiros para realizar as atividades. Esse indicador permitiu análise detalhada da eficiência dos trajetos nos 2 cenários (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Gráfico para medir a distância percorrida por 1 maqueiro no fluxo atual



Fonte: Autores.

Figura 6. Gráfico para medir a distância percorrida por 2 maqueiros no fluxo futuro



Fonte: Autores.

No fluxo atual, com apenas um maqueiro, os trajetos médios percorridos somavam 4,10 km por turno (Figura 5). Com a introdução de um segundo maqueiro no fluxo futuro (Figura 6), observou-se uma redução significativa nos deslocamentos. O primeiro maqueiro passou a caminhar, em média, 2,67 km por turno, representando uma diminuição de 34,88%. Já o segundo maqueiro percorreu 2,58 km, o que corresponde a uma redução de 37,07%. Esses resultados evidenciam como a redistribuição das tarefas entre dois profissionais impactou positivamente a eficiência do fluxo, reduzindo o esforço físico e otimizando o tempo disponível para o transporte dos pacientes. Esta redistribuição é um exemplo prático de como a aplicação dos princípios *lean* pode resultar em processos mais eficientes e menos desgastantes, melhorando a qualidade do serviço prestado e aumentando a satisfação do paciente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstra que simulações podem ser utilizadas para analisar situações atuais e simular cenários futuros, auxiliando na tomada de decisões quanto a mudanças no fluxo de trabalho dos maqueiros. As simulações permitem testar alterações sem modificar a realidade, economizando tempo e recursos e permitindo comparações diretas entre cenários. O modelo

pode servir como ferramenta para desenvolvimento e análise de estratégias relacionadas à gestão de maqueiros, bem como criação de novos conceitos e métodos para utilização em ferramentas enxutas e simulações de saúde. O *Flexsim* provou ser eficiente e fácil de usar, com a versão para saúde oferecendo uma ampla gama de ferramentas de diagnóstico.

Embora os benefícios da simulação na gestão de maqueiros sejam claros, também é importante reconhecer as suas limitações. Para os hospitais especializados em atendimentos e emergências materno-infantis, algumas situações exigem diferentes formas de transporte dos pacientes, dificultando a alteração de todas as situações por meio de simuladores e criando confusão e falhas na comunicação com os especialistas em transporte.

Com base nos resultados, este trabalho propõe um modelo de simulação que pode otimizar o fluxo de trabalho dos maqueiros por meio da redistribuição de tarefas. A principal intervenção estudada foi a redistribuição do trabalho com a introdução de um segundo maqueiro, o que resultou em uma redução significativa dos deslocamentos e melhor distribuição das atividades. Esta reorganização permitiu que cada maqueiro percorresse menos distância por turno, otimizando o tempo disponível para o transporte efetivo de pacientes. Os dados mostram que houve uma redução de 34,88% e 37,07% na distância percorrida pelos maqueiros no cenário proposto.

Futuras pesquisas podem implantar o fluxo proposto e acompanhar os indicadores de desempenho, além de explorar simulações em outros setores do hospital, como recepção e triagem. Adicionalmente, estudos sobre gestão de materiais também são sugeridos para melhorar o suporte às decisões hospitalares.

REFERÊNCIAS

- Abreu, C. E. M., Emiliano, J. P., Andrade, R. O., & Marcelino, L. R. (2017). Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 12(12), 49-53. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53>
- Adae, R. B. & Vetrova, O. A. (2023). Application of visualization tools for optimization problems of the transport model. *Scientific Visualization*, 15(2), 22-37. <https://doi.org/10.26583/sv.15.2.03>
- Ahmad, J., Khan, M. E., Abid, S. A., Arif, S., & Tariq, M. (2020). A simulation-based study for managing hospital resources by reducing patient waiting time. *IEEE Access*, 8, 193523-193531. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032760>
- Banks, J. (Ed.). (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172445.ch6>
- Buer, S.-V., Semini, M., Strandhagen, J. O., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, 59(7), 1976-1992. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684>
- Bunder, J. & Barros, G. G. (2019). O estudo de caso e a pesquisa-ação: compreensão teórica e evidências empíricas. *Simpósio brasileiro de qualidade de projeto do ambiente construído*, 6(1), 1561-1565. <https://doi.org/10.14393/sbqp19140>
- Chao, M. M. & Wen, C. L. (2021). Residenciais 5.0 com saúde conectada: humanização com automação por inteligência artificial para promoção de bem-estar em saúde. *World Congress of Architects*. Recuperado de <https://acsarch.org/ACSA.Intl.2021.125.pdf>
- Ciasullo, M. V., Polese, F., Troisi, O., & Carrubbo, L. (2022). Putting Health 4.0 at the service of Society 5.0: Exploratory insights from a pilot study. *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101163. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101163>
- Dossou, P.-E., Pereira, R., Salama, C., & Chang Jr., J. (2020). How to use lean manufacturing for improving a healthcare logistics performance. *Procedia Manufacturing*, 51, 1657-1664. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.231>
- Flexsim. (2024). Flexsim Healthcare. Recuperado de <https://www.flexsim.com/pt/healthcare/flexsim-hc/>
- Garcia, P. (2021). Simulação clínica: formação e inovação na promoção da qualidade e segurança do paciente. *Gazeta Médica*, 8(4), 247-249.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Gupta, S. (2024). Leveraging lean 4.0 technologies in healthcare: An exploration of its applications.



- Advances in Biomarker Sciences and Technology*, 6, 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.abst.2024.08.001>
- Krishnamoorthy, S., Dua, A., Gupta, C., Jaiswal, S., Balakrishnan, S., Abraham, A., Chang, V., & Gandomi, A. H. (2023). Role of emerging technologies in future IoT-driven Healthcare 4.0 technologies: A survey, current challenges and future directions. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(1), 361-407. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03302-w>
- Lopes, E. C. S., Araújo, A. C., & Pimentel, C. A. (2024). Simulação aplicada à melhoria de fluxo em um hospital público. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 10(3), 435-448. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i3.45221>
- Mazzocato, P., Savage, C., Brommels, M., Aronsson, H., & Thor, J. (2010). Lean thinking in healthcare: A realist review of the literature. *Quality & Safety in Health Care*, 19(5), 376-382. <https://doi.org/10.1136/qshc.2009.037986>
- Nascimento Neto, C. D., Silva, S. F. B., Silva, D. G. K. C., Silva, A. L., & Silva, M. A. (2020). Inteligência artificial e novas tecnologias em saúde: desafios e perspectivas. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 9431-9445. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-306>
- Oliveira, D. M., Alves, J. P. S., Pontes, S. B. C., & Pimentel, C. A. (2024). Simulação para melhorar fluxo de exames em um laboratório hospitalar. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 10(2), 452-465. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i2.44642>
- Randon, G., & Cecconello, I. (2019). Simulação como tecnologia habilitadora da Indústria 4.0: Uma revisão da literatura. *Scientia cum Industria*, 7(2), 117-125. <https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p117>
- Santana, E. R., Piacezzi, L. H. V., Lopes, M. C. B. T., Batista, R. E. A., Vancini-Campanharo, C. R., & Góis, A. F. T. (2021). Construção e validação de cenário de simulação de transporte intra-hospitalar. *Einstein* (São Paulo), 19, 1-9. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2021A_05868
- Santos, V. S. dos. (2023). Otimização da operação de abastecimento de linhas de produção em processos industriais através da integração de técnicas de aprendizado por reforço e simulação: um estudo com o Proximal Policy Optimization (PPO) no ambiente FlexSim [Dissertação de mestrado]. *Universidade Estadual de Campinas*. Recuperado de <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1371987>
- Silva, M. F., Mano, A. P., Oliveira, E., & Brum, E. (2020). Contribuições da Indústria 4.0 no Lean Healthcare. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. https://doi.org/10.14488/ENEGET2020_TN_S_TO_342_1751_39590
- Sun, T., Correa, J. C., Pisano, F., Finkelstein, S. N., Rose, A. F., & Wright, J. (2022). The digital twin in medicine: a key to the future of healthcare? *Frontiers in Medicine*, 9, 907066. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.907066>
- Tlapa, D., Franco-Alucano, I., Limon-Romero, J., Baez-Lopez, Y., & Tortorella, G. (2022). Lean, Six Sigma, and simulation: Evidence from healthcare interventions. *Sustainability*, 14(24), 16849. <https://doi.org/10.3390/su142416849>
- Tlapa, D., Tortorella, G., Fogliatto, F., Kumar, M., Mac Cawley, A., Vassolo, R., Enberg, L., & Baez-Lopez, Y. (2022). Effects of lean interventions supported by digital technologies on healthcare services: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9018. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159018>
- Tlapa, D., Zepeda-Lugo, C., Tortorella, G. L., Baez-Lopez, Y. A., Limon-Romero, J., Alvarado-Iniesta, A., & Rodriguez-Borbon, M. I. (2020). Effects of lean healthcare on patient flow: A systematic review. *Value in Health*, 23(2), 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2019.11.002>
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Espôsto, K. F., Mac Cawley, A., Vassolo, R., Tlapa, D., & Narayananamurthy, G. (2020). Measuring the effect of healthcare 4.0 implementation on hospitals' performance. *Production Planning & Control*, 33(4), 386-401. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1824283>
- Werner, S. M., Marzall, L. F., Valle, A. C., Garcia, M. A., & Schaefer, J. L. (2019). Análise da implementação de sistemas inteligentes para a gestão da alta hospitalar. *Gestão e Desenvolvimento*, 16(1), 129-151. <https://doi.org/10.25112/rgd.v16i1.1708>