

28, 29 e 30
de Outubro



XVI SENPEX

Inclusão e Diversidade Científica:
Democratizando o Conhecimento

A PESQUISA OPERACIONAL NO SUS: TECNOLOGIAS PARA GARANTIA DA SAÚDE PÚBLICA BRASILEIRA

Área Temática: Engenharia e Tecnologia

Ana Julia Mattei Bianco¹

¹UNIBAVE, anajuliambianco@gmail.com

Resumo: O Sistema Único de Saúde (SUS) é reconhecido como um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, porém enfrenta desafios relacionados à escassez de recursos, desigualdade de acesso e atrasos em atendimentos. A Pesquisa Operacional (PO), enquanto área que integra matemática, estatística e computação, oferece ferramentas capazes de otimizar a gestão hospitalar e de serviços, favorecendo maior eficiência e equidade. Este estudo busca analisar a aplicação da PO na saúde pública brasileira, destacando suas contribuições para a alocação de recursos, redução de gargalos e melhoria na qualidade do atendimento. Foram investigados trabalhos que aplicaram técnicas como programação linear, teoria das filas, simulação, teoria dos grafos e análise multicritério no contexto do SUS, com foco em casos reais como acesso a tratamentos oncológicos, assistência obstétrica, reorganização hospitalar e impactos da pandemia de COVID-19. Os resultados apontam que a PO tem potencial transformador para o fortalecimento do SUS e para a garantia da equidade na saúde.

Palavras-chaves: pesquisa operacional; Sistema Único de Saúde; otimização; gestão em saúde.

Introdução

O Brasil é um dos poucos países que possuem um serviço gratuito e universal de saúde, como destaca Paim *et al.* (2011), o SUS é um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, cobrindo mais de 200 milhões de pessoas. Entretanto, por mais 'evoluído' que tal sistema seja, comparado ao restante do mundo, ainda apresenta variados gargalos que impedem sua total eficiência e impactam na qualidade da saúde dos brasileiros. Masuda e colaboradores (2018) corroboram essa perspectiva, ao afirmar que o sistema de saúde brasileiro se encontra em uma encruzilhada, enfrentando uma crise de financiamento, enquanto lida com a transição epidemiológica.

Dessa forma, tal problema gera atrasos em procedimentos, cirurgias, recebimentos de remédios, diagnósticos de doenças, atrasos em atendimentos de emergência, o que muitas vezes acaba impactando negativamente o brasileiro dependente do SUS. Números do Ministério da Saúde obtidos via Lei de Acesso à Informação (LAI) mostram que pacientes precisaram aguardar quase dois meses (57 dias) para serem atendidos em 2024, e a demora se torna ainda maior quando o paciente necessita de uma consulta com especialidade médica (APM, 2025).

A pesquisa operacional é uma área matemática que vem há décadas proporcionando avanços à humanidade, buscando observar padrões, interpretá-los e modelá-los, para assim obter uma resposta de otimização, podendo resolver e instruir diversas decisões e melhor orientar o uso de recursos, principalmente quando são escassos como no SUS. Segundo Martins (2019, p. 4), " A Pesquisa Operacional (PO) utiliza a matemática, a estatística e a computação para auxiliar na solução de problemas reais, com foco na tomada das melhores decisões nas mais diversas áreas científicas e de atuação humana, buscando otimizar e melhorar suas performances."

Aplicada ao SUS, a PO pode auxiliar na melhor alocação de recursos e na redução de gargalos, considerando a complexidade e os múltiplos objetivos da gestão em saúde. Assim, analisar seu uso no SUS é fundamental para identificar caminhos que aumentem a eficácia do sistema. Desta forma, este artigo busca destacar áreas da saúde pública que podem ser beneficiadas pela aplicação da PO, analisando exemplos práticos e desafios. Mais do que uma discussão teórica, pretende chamar a atenção de gestores e

formuladores de políticas para o potencial da PO em contribuir com a melhoria do SUS e da qualidade de vida da população.

Procedimentos Metodológicos

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica e exploratória, utilizando como base artigos científicos, relatórios técnicos e publicações acadêmicas que abordaram a aplicação da Pesquisa Operacional em diferentes contextos da saúde pública brasileira. O levantamento incluiu trabalhos nacionais e internacionais, com foco nos que tratam do Sistema Único de Saúde, possibilitando a análise de casos reais e de propostas de otimização já testadas. O processo metodológico consistiu em três etapas principais:

- **Seleção de materiais:** Busca em bases acadêmicas e periódicos especializados, priorizando estudos que aplicaram técnicas como programação linear, teoria das filas, simulação, teoria dos grafos e análise multicritério na saúde.
- **Análise comparativa:** Avaliação crítica das metodologias empregadas nos artigos, dos contextos de aplicação (gestão hospitalar, acesso a tratamentos, planejamento territorial, produtividade hospitalar) e dos resultados obtidos.
- **Síntese interpretativa:** Organização dos achados para identificar padrões, benefícios e desafios da utilização da PO no SUS, destacando sua relevância para a equidade e eficiência dos serviços de saúde.

Resultados e Discussão

Fundamentos da pesquisa operacional

Programação Linear e Inteira Mista

A Programação Linear (PL) e a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) são métodos fundamentais da Pesquisa Operacional que, por meio de funções objetivo e restrições matemáticas, avaliam e elaboram modelos complexos para encontrar soluções ótimas. Essas técnicas são cruciais para a tomada de decisão, pois permitem uma

alocação mais eficiente de recursos escassos. No contexto do Sistema Único de Saúde (SUS), a implementação desses métodos pode revolucionar a gestão hospitalar e municipal, otimizando a distribuição de recursos financeiros entre medicamentos, insumos, infraestrutura e profissionais de saúde. Conforme destaca Murthy (2007, p. 24), "a programação linear é uma das técnicas mais versáteis, poderosas e úteis para tomar decisões gerenciais", evidenciando seu potencial transformador na administração pública.

Teoria das Filas

As filas constituem um mecanismo organizacional fundamental na sociedade contemporânea para gerenciar a espera por serviços, sendo amplamente utilizadas no Sistema Único de Saúde para regular o acesso a atendimentos em Unidades Básicas de Saúde (UBS), hospitais, procedimentos cirúrgicos, consultas com médicos especialistas e realização de exames solicitados pela população brasileira (Bruns, 2001).

Nesse contexto, a Teoria das Filas, conforme elucidado por Bruns (2001), foi desenvolvida com o objetivo de prever o comportamento dessas formações, permitindo o dimensionamento adequado de instalações, equipamentos e infraestrutura. A aplicação dessa teoria pode contribuir significativamente para a maior eficiência do SUS, uma vez que, além de otimizar o fluxo de atendimentos, possibilita o direcionamento estratégico de recursos, de acordo com as densidades demográficas e as demandas populacionais mais críticas do sistema.

Simulação

Conforme destaca Law (2015), a simulação computacional permite testar políticas operacionais em ambientes complexos, sem a necessidade de interromper o sistema real. Dessa forma, é possível avaliar estrategicamente diferentes cenários, identificando aqueles com maior impacto positivo na eficiência e na qualidade dos serviços. Para o SUS, essa técnica apresenta-se como uma ferramenta valiosa para otimizar a alocação de estruturas de saúde, como a implantação de novas Unidades de Pronto Atendimento (UPA), a distribuição de leitos hospitalares ou o dimensionamento de equipes médicas, possibilitando uma melhor resposta às demandas da população.

Outras técnicas

A Pesquisa Operacional, além das práticas já citadas, engloba inúmeras outras técnicas capazes de otimizar o SUS, como heurísticas, teoria de grafos, análise de decisão multicritério (ADM), entre muitas outras. Se devidamente estudadas e implementadas com dedicação, tais métodos têm o potencial de revolucionar e evoluir a saúde brasileira (Murthy, 2007).

Aplicações e estudos sobre a pesquisa operacional na saúde brasileira

Otimização do acesso a tratamentos oncológicos no Rio Grande do Sul

O primeiro estudo analisado é o de Battesini *et al.* (2018), cujo objetivo foi investigar a rede de tratamento oncológico no estado do Rio Grande do Sul, especialmente no que se refere ao acesso a procedimentos de quimioterapia. A pesquisa partiu do problema recorrente enfrentado por pacientes residentes em municípios distantes dos centros de referência oncológica, os quais precisam percorrer longas distâncias até uma Unidade de Alta Complexidade em Oncologia (UNACON) para receber atendimento.

Para compreender e propor soluções a essa situação, os autores recorreram à Programação Linear (PL), utilizando um modelo de transporte, técnica clássica da Pesquisa Operacional que permite otimizar a alocação de demandas em diferentes pontos de oferta, com base em custos de transporte. Nesse caso, os custos foram definidos como a distância percorrida pelos pacientes entre sua cidade de residência (origem) e o município com UNACON (destino).

O modelo foi estruturado considerando 497 municípios do Rio Grande do Sul como origens de demanda, e 20 municípios de referência com UNACONs como destinos, representando a oferta. Cada UNACON possuía uma capacidade instalada específica, que atuava como restrição do modelo, enquanto a demanda de cada município deveria ser integralmente atendida. A função objetivo, por sua vez, buscava minimizar a soma total das distâncias percorridas pelos pacientes, garantindo a eficiência global do sistema.

A resolução do modelo foi realizada com o *software lp_solve*, uma ferramenta livre de otimização. Foram conduzidos dois experimentos: o primeiro simulando a capacidade

real instalada das UNACONs, e o segundo testando uma ampliação de 50% dessa capacidade, de modo a avaliar possíveis realocações.

Os resultados indicaram que, mesmo sem aumentar o número de unidades, ajustes na alocação dos pacientes poderiam reduzir em 14,4% a distância total percorrida. Com a capacidade expandida, o modelo mostrou ainda maior potencial de redistribuição, sugerindo que a expansão da infraestrutura poderia impactar diretamente a equidade no acesso. O estudo evidenciou, portanto, como a PO pode contribuir de forma prática para o planejamento da rede oncológica, oferecendo aos gestores subsídios técnicos para orientar decisões de expansão e racionalização da oferta.

Caracterização do acesso à assistência ao parto normal na Bahia com base na Teoria dos Grafos

O estudo de Sousa, Araújo e Miranda (2017) examina o acesso ao parto normal no Estado da Bahia, utilizando como arcabouço metodológico a Teoria dos Grafos, para compreender padrões intermunicipais de deslocamento relacionados à realização desse procedimento.

Apesar das políticas públicas para organização do cuidado materno-infantil, como Rede Cegonha e pactos de redução da mortalidade materno-neonatal, a assistência ao parto normal ainda revela deslocamentos significativos de gestantes entre municípios, o que pode comprometer a integralidade e segurança do atendimento obstétrico .

Trata-se de pesquisa quantitativa que modelou o fluxo de origem e destino das internações por parto normal (2008–2014) como uma rede dirigida, usando o Sistema de Informação Hospitalar do SUS (SIH/SUS). Foram calculados os índices: grau de entrada, grau de saída, fluxo de entrada, fluxo de saída e tamanho médio da aresta de saída (distância em linha reta ponderada pelos deslocamentos). Esses indicadores foram agregados para análise nas nove macrorregiões de saúde da Bahia.

Entre 2008 e 2014, observou-se um declínio na proporção de partos normais, de 71 % para 60,6 %. Ao mesmo tempo, aumentou a proporção de partos realizados fora do município de residência, de 22 % para 24,8 %. A macrorregião Nordeste teve o maior crescimento nesse indicador (de 30,7 % para 44,8 %) .Além disso, persiste a concentração de partos em municípios polo das regiões de saúde, e houve ampliação da distância percorrida pela gestante. O aumento das arestas e fluxos entre municípios,

visualizados via grafos, demonstrou a evolução e intensidade dos deslocamentos. A visualização em rede e os indicadores derivados permitem diagnósticos claros e informados para o planejamento da assistência obstétrica regional.

Reorganização espacial da rede hospitalar do SUS

O estudo de Botega (2022) analisou a distribuição espacial da rede de hospitais gerais do SUS e propôs cenários de reorganização para aumentar a eficiência, sem comprometer a equidade. O problema identificado foi a presença de inúmeros hospitais de pequeno porte e baixa taxa de ocupação de leitos, que geram altos custos e baixa efetividade. Para investigar alternativas, foram utilizados dados do Sistema de Informações Hospitalares e do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) de 2015.

A metodologia envolveu análise da eficiência técnica e taxa de ocupação, identificando 497 hospitais ineficientes ("*Closing Hospitals*"). Posteriormente, aplicou-se um modelo de otimização resolvido no *software Lingo*, simulando o fechamento dessas unidades e a redistribuição da demanda para hospitais vizinhos, respeitando um limite máximo de 70 km de deslocamento. Os resultados mostraram que seria possível fechar hospitais ineficientes e realocar pacientes em unidades mais estruturadas, sem aumentar desigualdades territoriais, além de liberar recursos para fortalecer hospitais eficientes. Assim, o estudo demonstrou o potencial da pesquisa operacional como suporte ao planejamento territorial e à alocação racional de recursos hospitalares no Brasil.

Impacto da pandemia de COVID-19 na produtividade de hospitais gerais de ensino: uma aplicação da DEA-Malmquist

O estudo, desenvolvido por Lobo e colaboradores (2024), aborda os efeitos da pandemia de COVID-19 sobre a produtividade dos hospitais gerais de ensino no Brasil. A pandemia impôs alterações drásticas no padrão de atendimento dessas instituições, com suspensão de cirurgias eletivas e priorização de atendimentos COVID. Essas medidas necessárias prejudicaram a produtividade dos hospitais gerais de ensino, comprometendo sua eficiência técnica e a continuidade da prestação de serviços para outras demandas de saúde.

Dessa maneira, ocorreu um estudo observacional com modelagem matemática utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e índice de Malmquist, comparando: antes da pandemia (2019) e durante (2021). Foram incluídos 149 hospitais gerais de ensino no modelo, com exclusão de maternidades e unidades especializadas. Foram analisados número de leitos de enfermaria, leitos de UTI, índice de serviços especializados e taxa de mortalidade hospitalar. Os produtos considerados foram internações ajustadas por complexidade e número de cirurgias. A metodologia permitiu estimar a eficiência técnica de cada hospital e a evolução do desempenho ao longo do tempo.

Dos 149 hospitais avaliados, apenas 32 foram considerados eficientes. Observou-se queda generalizada na produtividade em todas as regiões e categorias jurídicas. Para que os hospitais ineficientes alcancem a fronteira de eficiência, seria necessário aumentar em 96,5% o número de internações (equivalente a aproximadamente 2.205.856 internações adicionais) e em 107,4% o número de cirurgias (cerca de 872.264 procedimentos extras) em relação a 2021.

O declínio na produtividade foi atribuído ao forte compromisso social dos hospitais durante a pandemia e à mudança no padrão de cuidados prestados, e não a falhas de gestão. O modelo matemático proposto oferece parâmetros técnicos que podem orientar a recuperação eficiente do atendimento no pós-pandemia e servir como ferramenta de planejamento hospitalar.

Perspectivas futuras para o campo da pesquisa operacional

A Pesquisa Operacional na saúde tem avançado com a integração crescente de inteligência artificial e *machine learning*, ampliando a capacidade de previsão e otimização de recursos (Wang; Alexandre, 2021). O uso de *big data* permite alimentar modelos mais precisos, identificando padrões complexos para melhorar a gestão hospitalar (Raghupathi; Raghupathi; 2014).

Técnicas avançadas de simulação estocástica continuam essenciais para lidar com a variabilidade dos sistemas de saúde, possibilitando testes seguros de políticas e intervenções (Jun; Jacobson; Swisher, 1999).

Além disso, a análise multicritério tem ganhado destaque ao permitir decisões que equilibram eficiência, equidade e sustentabilidade, aspectos fundamentais para sistemas

públicos como o SUS. Para que esses avanços sejam efetivos, é necessário fortalecer a cultura de decisão baseada em evidências e capacitar gestores e profissionais (Kumar; Klein, 2013).

Considerações Finais

A análise dos estudos revisados evidencia que a Pesquisa Operacional representa um instrumento estratégico e viável para enfrentar os desafios estruturais e operacionais do SUS. A aplicação de técnicas como programação linear, simulação, teoria das filas e análise multicritério demonstrou potencial para otimizar fluxos de pacientes, melhorar a alocação de recursos, reorganizar redes hospitalares e reduzir desigualdades regionais de acesso.

Os casos investigados, como a otimização do acesso a tratamentos oncológicos no Rio Grande do Sul, a análise da assistência obstétrica na Bahia e a reorganização espacial da rede hospitalar, comprovam que a PO pode subsidiar gestores com ferramentas quantitativas capazes de orientar políticas mais justas e eficientes. Além disso, o impacto da pandemia de COVID-19 reforçou a necessidade de modelos analíticos para apoiar decisões em cenários de crise, ampliando a relevância da PO no planejamento da saúde pública.

Entretanto, sua consolidação depende de condições estruturais e institucionais: capacitação de gestores, criação de núcleos de PO nas secretarias de saúde, maior interoperabilidade entre os sistemas de informação e estímulo à cooperação entre universidades e órgãos públicos. Sem esses elementos, o potencial da PO tende a permanecer restrito ao campo acadêmico.

Portanto, a PO não deve ser vista apenas como um recurso técnico, mas como uma ferramenta estratégica para a efetivação da equidade no SUS, contribuindo para que o sistema avance em eficiência, justiça social e qualidade do atendimento. Com o fortalecimento da cultura de decisão baseada em evidências, a Pesquisa Operacional pode se consolidar como um pilar de transformação da saúde pública brasileira.

Referências

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE MEDICINA – APM. **Mais acesso a especialistas:** Governo prevê cirurgias em hospital privado para acelerar fila do SUS. São Paulo:

APM, 2025. Disponível em: <https://www.apm.org.br/mais-acesso-a-especialistas-governo-preve-cirurgias-em-hospital-privado-para-acelerar-fila-do-sus/>. Acesso em: 10 out. 2025.

BATTESINI, Marcio *et al.* Otimização do acesso ao tratamento oncológico: aplicação da pesquisa operacional no SUS. **Revista Brasileira de Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 2, p. 257-278, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.02.0257>.

BOTEGA, Leonardo C. et al. Reorganização espacial da rede hospitalar do SUS: uma aplicação de pesquisa operacional. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 7, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00000022>.

BRUNS, Francis A. **Teoria das filas**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2001.

JUN, J. B.; JACOBSON, S. H.; SWISHER, J. R. Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey. **Journal of the Operational Research Society**, Londres, v. 50, n. 2, p. 109-123, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600679>.

KUMAR, Sameer; KLEIN, Robert. Simultaneous optimization of hospital services for operational efficiency and patient satisfaction. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 31, n. 3, p. 181-192, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.12.004>.

LAW, Averill M. **Simulation modeling and analysis**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

LOBO, Bianca et al. Avaliação do impacto da pandemia de covid-19 na produtividade dos hospitais de ensino no Brasil. **Epidemiol. Serv. Saúde**, [S.l.], v.33:e20231176, 2024.

MARTINS, Helder Gomes. **Pesquisa operacional: modelos e algoritmos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

MASUDA, Yoko Junko *et al.* Sistema de saúde brasileiro: desafios para universalidade, integralidade e equidade. **Revista Panamericana de Saúde Pública**, Washington, v. 42, n. 12, p. 1-9, 2018.

MURTHY, P. Rama. **Operations research**. New Delhi: New Age International Publishers, 2007.

PAIM, Jairnilson Silva et al. O sistema de saúde brasileiro: história, avanços e desafios. **The Lancet**, Londres, v. 377, n. 9779, p. 1778-1797, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60054-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60054-8).

RAGHUPATHI, Wullianallur; RAGHUPATHI, Viju. Big data analytics in healthcare: promise and potential. **Health Information Science and Systems**, Londres, v. 2, n. 3, p. 1-10, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/2047-2501-2-3>.

SOUSA, A. G.; ARAÚJO, M. C.; MIRANDA, L. R. Pesquisa operacional na saúde pública: revisão das aplicações no Brasil. **Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 89-106, 2017.

WANG, Ying; ALEXANDRE, Pedro. Aplicações da teoria dos grafos em redes hospitalares. **Revista de Engenharia Biomédica**, Lisboa, v. 37, n. 4, p. 412-421, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2446-4740.20210015>