

# Da Análise à Decisão: Explorando Fluxos de Decisão e Modelos de Impacto na Gestão da Atenção Primária à Saúde

Dimas Cassimiro Nascimento, Daliton da Silva, Igor Medeiros Vanderlei

<sup>1</sup>Universidade Federal do Agreste de Pernambuco  
Garanhuns – PE – Brasil

{dimas.cassimiro, daliton.silva, igor.vanderlei}@ufape.edu.br

**Abstract.** *This paper presents a concise Artificial Intelligence-based decision-support framework for Primary Health Care planning. The framework integrates three decision flows that combine demand forecasting, workforce allocation, spatial optimization, and efficiency analysis. The proposal connects diagnosis, prediction, simulation, optimization, and monitoring to support evidence-based public health management in contexts of limited resources, heterogeneous demand, and territorial inequalities.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um arcabouço conciso de apoio à decisão baseado em Inteligência Artificial para o planejamento da Atenção Primária à Saúde. A proposta integra três fluxos de decisão que combinam previsão de demanda, alocação de profissionais, otimização espacial e análise de eficiência. O arcabouço conecta diagnóstico, previsão, simulação, otimização e monitoramento, apoiando decisões públicas baseadas em evidências em contextos de recursos limitados, demanda heterogênea e desigualdades territoriais.*

## 1. Introdução

A Atenção Primária à Saúde (APS) é a principal porta de entrada do Sistema Único de Saúde (SUS) e exerce papel central na coordenação do cuidado, na prevenção de agravos e no acompanhamento contínuo da população. Em sistemas públicos de saúde, sua efetividade depende não apenas da existência de unidades assistenciais, mas também da capacidade de distribuir serviços, equipes e infraestrutura de forma compatível com as necessidades territoriais. Apesar de sua relevância, a APS é frequentemente limitada por desafios como distribuição desigual de unidades, alocação inadequada de profissionais, dificuldade de antecipar variações de demanda, restrições orçamentárias e heterogeneidade nos padrões de acesso aos serviços [Facchini et al. 2018]. Esses problemas tendem a ser mais críticos em municípios marcados por desigualdades socioespaciais, nos quais áreas próximas podem apresentar perfis muito distintos de demanda, cobertura e capacidade instalada.

Nesse contexto, técnicas de Inteligência Artificial (IA), Ciência de Dados e Pesquisa Operacional podem apoiar gestores na identificação de padrões de demanda, previsão de necessidades futuras, simulação de cenários e otimização de recursos. Modelos de previsão baseados em séries temporais e redes neurais recorrentes permitem estimar variações futuras de demanda a partir de dados históricos e contextuais [Shmueli and Lichtendahl Jr. 2018, Pereira et al. 2025]. De forma complementar, modelos de filas, simulação e agendamento contribuem para compreender gargalos operacionais, tempos

de espera e restrições de capacidade [Hall 2006, Gupta and Denton 2008]. Já os modelos de localização-alocação e otimização espacial oferecem suporte à análise de cobertura territorial, redistribuição de unidades e escolha de locais candidatos para expansão ou reorganização da rede [Farahani and Hekmatfar 2009, Ahmadi-Javid et al. 2017, Pan et al. 2023].

Entretanto, grande parte das soluções existentes trata previsão, localização de unidades, dimensionamento da força de trabalho e avaliação de eficiência como problemas isolados. Essa fragmentação dificulta a transformação de resultados analíticos em decisões operacionais acionáveis, pois uma recomendação de expansão territorial pode ser inviável sem análise orçamentária, assim como uma redistribuição de profissionais pode ser insuficiente se o problema estiver associado à localização física da unidade. Além disso, a adoção de IA na gestão pública em saúde exige infraestrutura informacional, integração de dados, governança e mecanismos que facilitem a interpretação das recomendações pelos gestores [Batista et al. 2024, Pagotto et al. 2024]. Assim, há espaço para propostas que organizem métodos já consolidados em fluxos decisórios integrados, orientados a problemas concretos da APS.

Este trabalho propõe um arcabouço integrado de apoio à decisão para a APS, estruturado em três fluxos: (i) redesenho da rede com base em eficiência e demanda; (ii) correção de ineficiências locais com diagnóstico integrado; e (iii) planejamento orçamentário com análise de cenários. A principal contribuição é organizar funcionalidades analíticas já conhecidas em uma estrutura operacional capaz de conectar diagnóstico, previsão, otimização, simulação e monitoramento, aproximando modelos quantitativos das necessidades concretas da gestão pública em saúde. Desse modo, é apresentada uma visão sistêmica para orientar o uso combinado de modelos preditivos, indicadores de eficiência, alocação de profissionais e otimização espacial em processos de planejamento da APS.

## 2. Trabalhos Relacionados

A literatura sobre apoio à decisão em saúde apresenta contribuições relevantes em diferentes frentes. Modelos de filas e simulação têm sido utilizados para analisar capacidade, fluxo de pacientes e impacto de políticas operacionais [Hall 2006]. Modelos de localização-alocação também são amplamente empregados para planejamento de redes de serviços, incluindo aplicações em saúde pública e acessibilidade territorial [Ahmadi-Javid et al. 2017, Pan et al. 2023]. Esses estudos fornecem bases importantes para reorganização da rede assistencial, mas geralmente não integram previsão de demanda e análise de eficiência em um mesmo processo decisório.

Em relação à previsão, métodos de séries temporais e redes neurais recorrentes têm sido explorados para estimar demandas futuras em diferentes contextos [Shmueli and Lichtendahl Jr. 2018, Pereira et al. 2025]. No campo de operações em saúde, estudos sobre agendamento e dimensionamento de recursos humanos reforçam a importância de conectar demanda, capacidade e alocação de profissionais [Gupta and Denton 2008, Santos et al. 2026]. Além disso, abordagens baseadas em indicadores e avaliação de eficiência permitem transformar registros administrativos em diagnósticos úteis para priorização de unidades, identificação de déficits e acompanhamento de intervenções [Nascimento et al. 2026]. Trabalhos recentes também destacam a necessidade de infraestrutura informacio-

nal, integração de dados e governança para viabilizar soluções baseadas em IA no setor público e na saúde [Batista et al. 2024, Pagotto et al. 2024]. Este artigo se posiciona na interseção dessas frentes ao propor fluxos de decisão que conectam dados, modelos analíticos e ações gerenciais, sem restringir o problema da APS a uma única técnica ou a uma única etapa do planejamento.

### 3. Funcionalidades Analíticas Fundamentais

O arcabouço proposto é composto por quatro funcionalidades analíticas complementares, concebidas para operar de forma modular. Essa organização permite que cada município utilize os módulos conforme a maturidade de seus dados e suas prioridades de gestão, ao mesmo tempo em que preserva uma lógica integrada de diagnóstico, planejamento e monitoramento. A primeira funcionalidade é o módulo de **Previsão de Demanda**, responsável por projetar a demanda futura por serviços de saúde em diferentes níveis de agregação. Para uma unidade  $u_j$  e categoria de serviço  $k$ , considere a série histórica  $\{y_{j,k,1}, \dots, y_{j,k,T}\}$ . O módulo gera previsões para os próximos  $H$  períodos, representadas por  $\hat{\mathbf{d}}_{j,k} = [\hat{d}_{j,k,T+1}, \dots, \hat{d}_{j,k,T+H}]$ , que podem alimentar decisões de alocação ou planejamento territorial.

A segunda funcionalidade é a **Otimização da Alocação de Profissionais**, cujo objetivo é redistribuir a força de trabalho entre unidades. Inspirado em modelos de margem de capacidade [Bourgeois III 1981, Santos et al. 2026], o módulo considera a Margem de Capacidade de Atendimento (MCA), definida por  $MCA_{jk} = (P_{jk} \cdot s_k) - d_{jk}$ , em que  $P_{jk}$  é o número de profissionais da categoria  $k$  alocados na unidade  $j$ ,  $s_k$  é a produtividade média e  $d_{jk}$  é a demanda projetada. Valores negativos indicam déficit; valores positivos indicam capacidade ociosa.

A terceira funcionalidade é a **Otimização Espacial**, utilizada para avaliar a localização de unidades existentes ou candidatas. Esse módulo considera pontos de demanda, população, capacidade instalada, locais candidatos e restrições de distância, buscando melhorar cobertura e acessibilidade [Farahani and Hekmatfar 2009, Ahmadi-Javid et al. 2017, Santos et al. 2026]. A quarta funcionalidade é a **Análise de Indicadores de Eficiência**, responsável por diagnosticar unidades críticas com base em métricas como cobertura populacional, atendimentos por profissional, tempo de espera e MCA [Nascimento et al. 2026]. Esses indicadores também servem para monitorar os impactos das intervenções.

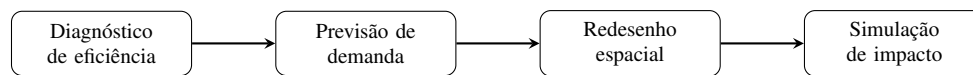
### 4. Fluxos de Decisão Propostos

A integração das funcionalidades anteriores fundamenta três fluxos de decisão. Cada fluxo organiza a sequência de uso dos módulos analíticos e define como suas saídas podem apoiar decisões de gestão.

#### Fluxo 1: Redesenho da Rede com Base em Eficiência e Demanda.

O primeiro fluxo busca otimizar a configuração atual da rede antes de propor expansão. Inicialmente, indicadores de eficiência identificam unidades com baixa utilização, sobreposição de cobertura ou alto custo por atendimento. Em seguida, previsões de demanda ajudam a diferenciar unidades estruturalmente ociosas daquelas que podem se tornar necessárias no futuro. Com base nesse diagnóstico, a otimização espacial avalia

cenários de fusão, realocação ou desativação de unidades, preservando restrições de cobertura e acessibilidade. Por fim, o impacto esperado é simulado em termos de custos, cobertura e capacidade de atendimento.



**Figura 1. Fluxo de decisão para redesenho da rede.**

Como exemplo, duas UBS próximas, ambas com ocupação inferior a 60%, podem ser avaliadas quanto à possibilidade de fusão em uma unidade ampliada e melhor localizada. Caso a previsão indique crescimento moderado, mas insuficiente para justificar duas estruturas independentes, o modelo pode recomendar a fusão, liberando recursos para áreas efetivamente descobertas.

**Fluxo 2: Correção de Ineficiências Locais.** O segundo fluxo diferencia problemas de capacidade de problemas de localização. A análise de eficiência identifica unidades com desempenho abaixo de limiares definidos pela gestão. Unidades com MCA negativa e alta demanda reprimida são direcionadas ao módulo de alocação de profissionais. Já unidades com baixa ocupação, baixa acessibilidade ou desempenho estruturalmente insatisfatório podem ser encaminhadas ao módulo de otimização espacial. Assim, o fluxo evita tratar todos os problemas da rede como simples falta de profissionais ou como necessidade automática de novas unidades.



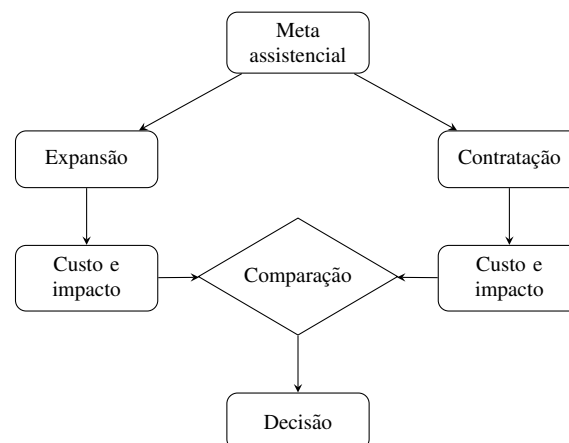
**Figura 2. Fluxo de decisão para correção de ineficiências locais.**

Por exemplo, uma UBS com tempo de espera elevado e MCA negativa pode receber profissionais realocados de uma unidade ociosa. Se, mesmo após a realocação, a cobertura continuar baixa, o problema pode estar associado à localização física da unidade. Nesse caso, o módulo espacial avalia locais candidatos e estima o ganho de acessibilidade antes da tomada de decisão.

**Fluxo 3: Planejamento Orçamentário com Análise de Cenários.** O terceiro fluxo apoia decisões estratégicas de investimento. O gestor define uma meta assistencial mensurável, como ampliar a cobertura de saúde bucal ou reduzir déficits de atendimento. O sistema simula estratégias alternativas: expansão da rede, contratação de profissionais ou cenários mistos. Cada estratégia é avaliada em termos de custo, impacto esperado, prazo de implantação e sustentabilidade orçamentária.

Como exemplo, para elevar a cobertura de saúde bucal de 55% para 80%, o gestor pode comparar a construção de novas unidades com a contratação de equipes adicionais. A primeira alternativa pode exigir maior investimento inicial, enquanto a segunda representa custo recorrente. O fluxo permite comparar as opções sob a ótica de custo-benefício e simular combinações intermediárias.

**Diretrizes de Implantação.** A implantação dos fluxos requer cinco diretrizes principais. Primeiro, é necessário consolidar uma base de dados integrada e



**Figura 3. Fluxo de decisão para planejamento orçamentário.**

confiável, combinando informações de produção assistencial, cobertura, força de trabalho, localização das unidades e indicadores territoriais. Segundo, deve-se definir a granularidade espacial adequada, utilizando setores censitários, microáreas, bairros ou regiões administrativas, conforme a disponibilidade de dados. Terceiro, os modelos devem ser parametrizados segundo restrições reais, incluindo vínculos trabalhistas, carga horária, orçamento, terrenos disponíveis, capacidade instalada e limites de deslocamento. Por fim, os fluxos devem ser usados como instrumentos de apoio à decisão, e não como mecanismos automáticos de substituição do gestor. Recomendações analíticas precisam ser interpretadas à luz de fatores institucionais, sociais e políticos.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou um arcabouço integrado de apoio à decisão para a Atenção Primária à Saúde, baseado em três fluxos que articulam previsão de demanda, análise de eficiência, alocação de profissionais, otimização espacial e simulação de cenários. A proposta contribui ao organizar métodos quantitativos em uma estrutura operacional orientada às necessidades da gestão pública, permitindo comparar alternativas, justificar decisões e monitorar impactos.

Como trabalhos futuros, pretende-se validar empiricamente os fluxos com dados reais, incorporar incertezas às previsões, estender a formulação para cenários multiobjetivo e avaliar a proposta com gestores públicos. Também será importante investigar mecanismos de explicabilidade e visualização que facilitem a interpretação das recomendações pelos usuários finais, bem como estratégias de governança que assegurem atualização dos dados, rastreabilidade das decisões e uso responsável das recomendações analíticas.

## Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o financiamento do Ministério da Saúde (Decit/SECTICS/MS) no projeto de pesquisa em execução.

## Referências

Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., and Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 79:223–263.

- Batista et al. (2024). Fortaleza city hall strategic planning based on data analysis and forecasting. In *Anais do XXVII Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software*, pages 433–436, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Bourgeois III, L. J. (1981). On the measurement of organizational slack. *Academy of Management Review*, 6(1):29–39.
- Facchini, L. A., Tomasi, E., and Dilélio, A. d. S. (2018). Qualidade da atenção primária à saúde no brasil: avanços, desafios e perspectivas. *Saúde em Debate*, 42(spe1):208–223.
- Farahani, R. Z. and Hekmatfar, M., editors (2009). *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gupta, D. and Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*, 40(9):800–819.
- Hall, R. W., editor (2006). *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*. Springer, New York, NY.
- Nascimento, I. Y. N., Santos, V. B., Pereira, L. F. A., Araújo, T. B., Rocha, C. G. M., Medeiros Filho, F. G., Andrade, R. C. A. d., Vanderlei, I. M., and Nascimento Filho, D. C. d. (2026). Primary healthcare efficiency indicators for analysis and decision-making support for managers. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 556–575. SBC.
- Pagotto, D. d. P. et al. (2024). Inovação em saúde: a implementação de um data lake para armazenamento, sistematização e disponibilização de dados em saúde no brasil. *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, 15(1):e213345.
- Pan, J., Deng, Y., Yang, Y., and Zhang, Y. (2023). Location-allocation modelling for rational health planning: Applying a two-step optimization approach to evaluate the spatial accessibility improvement of newly added tertiary hospitals in a metropolitan city of china. *Social Science & Medicine*, 338:116296.
- Pereira, L. F. A., Ferreira, L. B., Nascimento, D. C. d., Vanderlei, I. M., Silva, D., Santos, V. B., Gomes, M. S., and Melo, I. A. d. (2025). Design, integration, and evaluation of a demand forecasting service in the context of primary healthcare. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 506–514. SBC.
- Santos, M., Tenório, G., Barros, B. J. S., Nogueira, B., Nascimento, D. C. d., and Pinheiro, R. G. S. (2026). A system for workforce sizing optimization to enhance service capacity in primary healthcare units. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 890–909. SBC.
- Shmueli, G. and Lichtendahl Jr., K. C. (2018). *Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-on Guide*. Axelrod Schnall Publishers.