

SmartApSUS: Integrando Dados, Previsão e Otimização para Fortalecer a Gestão da APS no Brasil

Thiago Pinheiro², Mágnio Gomes¹, Igor Vanderlei¹, Dimas Nascimento¹,
Thiago Fabrício¹, Rodrigo Andrade¹, Daliton da Silva¹

¹Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) – Garanhuns – PE – Brasil

²Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife – PE – Brasil

tfs3@cin.ufpe.br, {magno.sillas, igor.vanderlei, dimas.cassimiro,
thiago.fabricio, rodrigo.andrade, daliton.silva}@ufape.edu.br

Abstract. *This paper presents SmartApSUS, an integrated analytics platform to improve strategic decision-making in Brazilian Primary Health Care (APS). By merging heterogeneous health data with advanced prediction and optimization techniques, SmartApSUS helps public administrators to efficiently allocate professionals and APS units, reduce operational costs, and expand population coverage. The platform comprises three core modules – demand forecasting, resource allocation optimization, and interactive data visualization – in a modular and interoperable architecture. Demonstrations with real-life scenarios confirm its practicality and effectiveness and underline the significant potential for improving public health management through data-driven decisions.*

Resumo. *Este artigo apresenta o SmartApSUS¹, uma plataforma analítica integrada voltada ao aprimoramento das decisões estratégicas na Atenção Primária à Saúde (APS) brasileira. Unificando dados heterogêneos de saúde com técnicas avançadas de previsão e otimização, o SmartApSUS auxilia gestores públicos na alocação eficiente de profissionais e unidades, reduzindo custos operacionais e ampliando a cobertura populacional. A plataforma é composta por três módulos principais—previsão de demanda, otimização de recursos e visualização de dados—organizados em uma arquitetura modular e interoperável. Demonstrações com cenários reais validaram sua aplicabilidade e eficácia, evidenciando um grande potencial para aprimorar a gestão pública em saúde por meio de decisões orientadas por dados.*

1. Introdução

A Atenção Primária à Saúde (APS) figura como o primeiro nível de contato da população com o sistema de saúde, atuando como a base de sustentação de sistemas públicos sustentáveis [Saúde 2011]. No contexto brasileiro, essa função ocorre no âmbito do *Sistema Único de Saúde (SUS)*, onde a APS responde pela maioria das necessidades de saúde da população [Saúde 2011]. Fatores como a complexidade crescente dos problemas de saúde, as limitações orçamentárias, a escassez de profissionais e as deficiências logísticas exigem ferramentas sofisticadas para garantir o planejamento e a gestão eficiente da APS.

O acesso a grandes volumes de dados sobre saúde pública tem aumentado de forma significativa [Mailman School of Public Health, Columbia University 2023]. No entanto, transformar esses dados em informação útil para a tomada de decisão ainda representa um desafio. Dificuldades como falta de padronização, ausência de integração entre sistemas e

¹ Vídeo: <https://tinyurl.com/sbbd-smartapsus-repositorio>

Repositório Github: <https://github.com/ufelipebr/sbbd-smartapsus>

carência de ferramentas analíticas comprometem o uso efetivo das informações [Costa et al. 2025]. Ao mesmo tempo, a demanda por atendimentos segue em crescimento, exigindo previsões cada vez mais precisas de uso de recursos, enquanto gestores se deparam com o dilema de alocar profissionais e insumos de forma econômica e estruturada em face de restrições orçamentárias.

Para enfrentar esses desafios, apresentamos o *SmartApSUS*: uma plataforma analítica que integra algoritmos de otimização, prevê demandas em APS e consolida dados epidemiológicos, socioeconômicos e operacionais de múltiplas fontes públicas. O *SmartApSUS* baseia-se em três pilares centrais: (i) a integração de algoritmos de otimização para alocar recursos (profissionais, insumos, infraestrutura); (ii) a previsão de demandas, viabilizando o planejamento antecipado de cenários e a redução de gargalos; e (iii) a visualização e análise de dados, que apoia gestores no monitoramento contínuo de indicadores-chave e na geração de planos de ação. O *SmartApSUS* converte grandes volumes de dados em recomendações práticas, auxiliando na maximização da cobertura de serviços, redução de custos e alocação justa de recursos. Dessa forma, a plataforma busca apoiar os gestores públicos na tomada de decisões estratégicas.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresentamos os principais trabalhos relacionados, ressaltando abordagens de alocação de recursos e análise de dados em saúde pública. Na Seção 3, descrevemos a arquitetura do *SmartApSUS*. Em seguida, na Seção 4, discutimos a visualização de dados e os módulos de apoio e ilustramos o uso da ferramenta em cenários reais. Finalmente, na Seção 5, reunimos as conclusões, destacando perspectivas futuras.

2. Trabalhos Relacionados

Pesquisas sobre alocação eficiente de recursos na saúde pública abrangem tanto políticas de redistribuição de profissionais (como o Programa Mais Médicos [Brasil 2013]) quanto modelos de otimização via ILP/MILP [Mendoza-Gómez et al. 2022] e técnicas meta-heurísticas [Lameesa et al. 2024]. Estudos indicam melhorias significativas na distribuição de recursos e redução de mortalidade, embora haja limitações na consistência de alocação e carência de critérios pautados em dados objetivos [Hone et al. 2020; Mendoza-Gómez et al. 2022; Lameesa et al. 2024]. Em paralelo, abordagens de Inteligência Artificial (IA) são aplicadas a cenários de escassez de insumos e equipes, com soluções adaptativas que extraem padrões de dados históricos [Wu et al. 2023; Neves et al. 2020]. Entretanto, muitos trabalhos permanecem em fase experimental ou restringem-se a setores específicos, não resultando em ferramentas integradas para a APS.

No contexto brasileiro atual, observa-se um movimento significativo de modernização da Atenção Primária à Saúde com a adoção de sistemas de informação e ferramentas digitais, o que cria terreno fértil para soluções de apoio à decisão. A Estratégia e-SUS AB implantou o Prontuário Eletrônico do Cidadão (PEC) em milhares de UBS, digitalizando o registro clínico na APS [Celuppi et al. 2024]. Apesar dos desafios iniciais, o PEC se firmou como o principal sistema de prontuário eletrônico na APS brasileira, presente em mais de 26 mil unidades básicas. Também foram adicionados componentes para o envio de dados clínicos (como vacinações e atendimentos) à Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS), viabilizando interoperabilidade e acompanhamento centralizado de informações. Essas iniciativas – Conecte SUS e Informatiza APS, entre outras – fazem parte da estratégia de Saúde Digital do país, cujo objetivo é qualificar o uso de dados na gestão pública e integrar os diversos níveis de atenção. A APS brasileira dispõe hoje de grandes bases de dados clínicos e administrativos, coletados rotineiramente, o que abre oportunidades para o desenvolvimento de plataformas inteligentes de apoio à

decisão baseadas nesses dados.

Alguns trabalhos têm explorado exatamente essa convergência entre dados da APS e inteligência analítica. Destaca-se o projeto LARIISA e sua solução denominada GISSA, uma plataforma em nuvem voltada ao suporte à decisão na gestão da Estratégia Saúde da Família [Costa Filho et al. 2021]. Trata-se de um caso emblemático de uso de Big Data e IA na APS brasileira, mostrando ganhos na visualização de dados integrados e na agilidade para detectar necessidades. No entanto, soluções como o GISSA focam sobretudo em análises descritivas e preditivas (monitoramento de indicadores e previsão de riscos), sem incorporar modelos de otimização prescritiva para sugerir a melhor alocação de recursos ou o planejamento ótimo de equipes. Ou seja, faltam componentes de decisão automatizada que indiquem como agir diante das informações e previsões geradas.

Diferentemente dos estudos anteriores, que em geral abordam isoladamente a previsão de demandas ou a otimização de recursos, o *SmartApSUS* propõe uma integração sinérgica de módulos preditivos, prescritivos e de visualização em uma única plataforma. Já existem bases conceituais e tecnológicas sólidas para cada componente: métodos de previsão capazes de antecipar necessidades da APS, modelos de otimização para alocação eficiente de recursos e sistemas de informação em saúde providos de dados abrangentes e atualizados. A inovação do *SmartApSUS* está em combinar estes três eixos de forma modular e interoperável, criando um sistema de apoio à decisão completo. Essa integração permite que gestores da APS simulem cenários e testem estratégias (“what-if”) de forma simplificada – algo ausente nos trabalhos revisados. Assim, o *SmartApSUS* pretende avançar o estado da arte ao oferecer um ferramental completo de apoio à decisão estratégica na APS, indo além das abordagens fragmentadas encontradas na literatura e contribuindo para a modernização inteligente do SUS.

3. Arquitetura da Solução

A arquitetura do *SmartApSUS* segue o paradigma de microsserviços, priorizando o desacoplamento e a escalabilidade de cada módulo. O sistema está dividido em três blocos principais: Frontend, Backend e Banco de Dados.

O Frontend corresponde à camada de apresentação, desenvolvida com React², Next.js³ e TypeScript⁴. Essa interface web permite que os gestores de saúde configurem cenários de otimização, visualizem indicadores-chave em painéis interativos e tenham acesso a mapas georreferenciados que exibem informações sobre demanda, cobertura populacional e distribuição de recursos. A comunicação com o Backend ocorre por chamadas assíncronas ou APIs REST, ajudando a manter baixa latência no tráfego de dados.

No Backend, concentram-se microsserviços que se comunicam de maneira assíncrona por meio do RabbitMQ⁵. Em paralelo, os serviços de otimização processam rotinas de previsão de demanda e algoritmos de alocação de recursos. Já os serviços de dados (ETL, em Python) ficam responsáveis por integrar informações provenientes de várias fontes públicas, como CNES⁶, IBGE⁷ e DATASUS⁸.

Para o armazenamento, há dois grupos de bases: uma voltada aos dados externos (arquivos brutos e tabelas consolidadas exportadas de outros sistemas, como CNES, IBGE ou DATASUS) e outra para os dados internos (resultados parciais, parâmetros de algoritmos, cache de configurações). A existência desses dois conjuntos de modelos favorece a separação entre informações de origem e dados intermediários ou refinados, permitindo atualizar algoritmos ou ajustar estratégias sem corromper o repositório original.

² <https://react.dev/> ³ <https://nextjs.org/> ⁴ <https://www.typescriptlang.org/> ⁵ <https://www.rabbitmq.com/>

⁶ <https://cnes.datasus.gov.br/> ⁷ <https://www.ibge.gov.br/> ⁸ <https://datasus.saude.gov.br/>

4. Demonstração da Ferramenta

A interface do *SmartApSUS* foi concebida para gestores de diferentes níveis (municipal, estadual e federal) e tem como ponto de partida um mapa interativo que exibe a distribuição das unidades de APS em todo o território nacional. Nesse mapa, o usuário pode filtrar as unidades por tipologia, como *Centros de Atenção Psicossocial* ou *Unidades Básicas de Saúde*, facilitando a identificação dos serviços disponíveis em cada localidade.

O **módulo de previsão** oferece duas categorias de estimativas: demanda para cidades e demanda para unidades APS. Na previsão municipal, o usuário seleciona um ou mais municípios; na previsão por unidade, definem-se quais unidades APS serão analisadas e o tipo de atendimento (consultas médicas, visitas domiciliares, atendimentos odontológicos etc.). O sistema gera projeções para períodos específicos, tomando séries históricas locais como base, o que permite antecipar necessidades operacionais.

Para o planejamento de recursos, o **módulo de otimização** dispõe de duas modalidades: *Alocação de Unidades APS* e *Distribuição de Profissionais*. Na primeira, o usuário pode resolver problemas de *minimizar distância* ou *minimizar custo*, utilizando métricas como *densidade populacional* ou *população*. Na segunda, é possível redistribuir profissionais por especialidade e geografia, obtendo cenários que equilibram a capacidade assistencial entre unidades.

Além disso, o *SmartApSUS* oferece dashboards interativos que consolidam informações epidemiológicas, socioeconômicas e operacionais de diversas fontes (Figura 1). No nível municipal, os painéis apresentam mapas interativos com a distribuição espacial das unidades APS, e exibem gráficos detalhados sobre atendimentos realizados, tipos de profissionais atuantes e comparações dos indicadores municipais com indicadores estaduais e nacionais. No nível das unidades APS, os dashboards exibem informações específicas sobre cada unidade. Em ambos os dashboards é possível cruzar dados, auxiliando na identificação de necessidades prioritárias e na tomada de decisões estratégicas. Essa granularidade permite análises detalhadas e comparativas, facilitando intervenções pontuais e direcionadas para melhorar a eficiência operacional e a qualidade dos serviços.

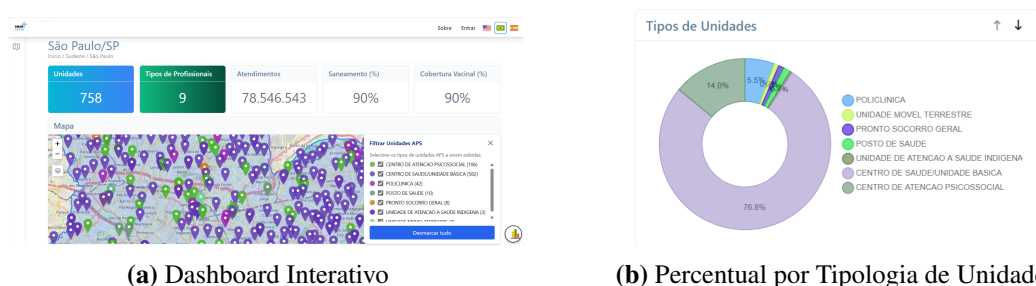


Figura 1. Dashboards municipais interativos do *SmartApSUS*

Para ilustrar o funcionamento do módulo de *Otimização por Unidade APS*, consideramos o município de Garanhuns (Pernambuco), que possuía 56 unidades APS cadastradas no sistema. O gestor definiu a necessidade de ampliar a rede para 58 unidades, selecionando como critério de otimização o problema *minimizar distância* entre unidades APS e população atendida. As métricas *população total* e *densidade populacional* foram habilitadas com pesos iguais (50% cada). Foram adicionadas ao mapa localizações candidatas às novas unidades, cada uma acompanhada do custo estimado de implantação e da capacidade máxima de cobertura populacional (Figura 2a). Com esses insumos, o algoritmo analisou simultaneamente as 58 possibilidades (56 existentes + 2 candidatas) e produziu um cenário otimizado que indicou, em mapa e planilha, quais pontos deveriam ser mantidos, realocados ou implantados, assegurando cobertura geograficamente equilibrada e aderente às restrições de custo (Figura 2b).



(a) Distribuição original (56 unidades)

(b) Cenário otimizado (58 unidades)

Figura 2. Resultado da otimização locacional no município de Garanhuns/PE

Os módulos de predição empregados no *SmartApSUS* utilizam Redes Neurais Recorrentes (RNNs), Long Short-Term Memory (LSTM) e Gated Recurrent Unit (GRU), combinadas à regressão temporal, enquanto a otimização de recursos é formulada como um problema de programação inteira mista e otimização linear, resolvido pelo solver CPLEX⁹. A modelagem conceitual dos algoritmos de otimização, a integração semântica dos dados, o fluxo automatizado de ingestão a partir de arquivos CSV e GeoJSON, possibilitando também a importação via API do IBGE, os mecanismos de validação e versionamento, as limitações operacionais da plataforma em cenários nacionais, bem como resultados preliminares que confirmam a viabilidade prática e ganhos mensuráveis são discutidos com maior profundidade em outras publicações sobre a ferramenta [D. C. Nascimento et al. 2025; Pereira, I. Y. N. Nascimento et al. 2025; Pereira, Ferreira et al. 2025].

5. Conclusão

Este artigo apresentou o *SmartApSUS*, uma plataforma inovadora de apoio à decisão estratégica na Atenção Primária à Saúde (APS), desenvolvida para integrar módulos de previsão de demanda, otimização de recursos e visualização analítica em uma única solução modular e interoperável. O *SmartApSUS* possibilita aos gestores públicos prever demandas futuras com alta precisão e realizar simulações detalhadas para otimizar a alocação de profissionais e unidades APS, garantindo melhor cobertura populacional, menor custo operacional e uso mais racional dos recursos disponíveis. Os cenários demonstrados neste artigo evidenciaram como a ferramenta gera soluções para problemas reais, contribuindo para o aprimoramento da gestão pública no contexto do SUS. Como próximos passos para o *SmartApSUS*, destacam-se a ampliação dos modelos analíticos com a inclusão de técnicas avançadas de aprendizado de máquina, como redes neurais profundas e modelos híbridos, visando aperfeiçoar a precisão das previsões.

6. Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e financiamento do Departamento de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Complexo da Saúde do Ministério da Saúde - Decit/SECTICS/MS no projeto de pesquisa (processo 445259/2023-0) em execução.

Referências

Brasil [2013]. *Lei n.º 12.871, de 22 de outubro de 2013*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12871.htm. Institui o Programa Mais Médicos. Acesso em: 13 out. 2023.

⁹ Disponível em <https://www.ibm.com/br-pt/products/ilog-cplex-optimization-studio>; requer licença de uso.

- Celuppi, Ianka Cristina et al. [jun. de 2024]. “Dez anos do Prontuário Eletrônico do Cidadão e-SUS APS: em busca de um Sistema Único de Saúde eletrônico”. Em: *Revista de Saúde Pública* 58.1, p. 23. ISSN: 0034-8910. DOI: 10.11606/s1518-8787.2024058005770.
- Costa, Marcus Vinicius da Silva et al. [jan. de 2025]. “Avanços e desafios da interoperabilidade no Sistema Único de Saúde”. Em: *Journal of Health Informatics* 17, p. 1112. ISSN: 2175-4411. DOI: 10.59681/2175-4411.v17.2025.1112.
- Costa Filho, Raimundo Valter et al. [mai. de 2021]. “LARIISA: soluções digitais inteligentes para apoio à tomada de decisão na gestão da Estratégia de Saúde da Família”. Em: *Ciência & Saúde Coletiva* 26.5, pp. 1701–1712. ISSN: 1413-8123. DOI: 10.1590/1413-81232021265.03382021.
- Hone, Thomas et al. [set. de 2020]. “Impact of the Programa Mais médicos (more doctors Programme) on primary care doctor supply and amenable mortality: quasi-experimental study of 5565 Brazilian municipalities”. Em: *BMC Health Services Research* 20.1. ISSN: 1472-6963. DOI: 10.1186/s12913-020-05716-2.
- Lameesa, Aiman et al. [mai. de 2024]. “Role of metaheuristic algorithms in healthcare: a comprehensive investigation across clinical diagnosis, medical imaging, operations management, and public health”. Em: *Journal of Computational Design and Engineering* 11.3, pp. 223–247. ISSN: 2288-5048. DOI: 10.1093/jcde/qwae046.
- Mailman School of Public Health, Columbia University [2023]. *The Future Is: Data Science for Health*. <https://www.publichealth.columbia.edu/news/future-data-science-health>. Acesso em: 11 out. 2023.
- Mendoza-Gómez, Rodolfo et al. [2022]. “Regionalization of primary health care units with multi-institutional collaboration”. Em: *Socio-Economic Planning Sciences* 83, p. 101343. ISSN: 0038-0121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101343>.
- Nascimento, Dimas Cassimiro et al. [2025]. “Conceptual Modeling of Algorithm Parameterization and Results Considering Volatile Data Requirements: A Case Study in the Context of Primary Healthcare”. Em: *Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)*. SBC, pp. 399–408.
- Neves, Nedy M. B. C. et al. [2020]. “Ethical dilemmas in COVID-19 times: how to decide who lives and who dies?” Em: *Revista da Associação Médica Brasileira* 66.suppl 2, pp. 106–111. ISSN: 0104-4230. DOI: 10.1590/1806-9282.66.s2.106.
- Pereira, Luis F Alves, Luann Bento Ferreira et al. [2025]. “Design, Integration, and Evaluation of a Demand Forecasting Service in the Context of Primary Healthcare”. Em: *Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)*. SBC, pp. 506–514.
- Pereira, Luis F Alves, Izabel Yale Neves Nascimento et al. [2025]. “Avaliação da Evolução da Eficiência Operacional de Municípios Brasileiros na Gestão de Recursos para Atenção Primária à Saúde”. Em: *Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*. SBC, pp. 737–747.
- Saúde, Brasil. Ministério da [2011]. *Portaria n.º 2.488, de 21 de outubro de 2011. Aprova a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes e normas*. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2488_21_10_2011.html. Acesso em: 10/10/2023.
- Wu, Hao et al. [jan. de 2023]. “The Application of Artificial Intelligence in Health Care Resource Allocation Before and During the COVID-19 Pandemic: Scoping Review”. Em: *JMIR AI* 2, e38397. ISSN: 2817-1705. DOI: 10.2196/38397.