

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM

Saúde e cidades inteligentes

Pesquisa aplicada e soluções digitais para uma sociedade mais humana e sustentável



Organizadores

Luiz Gustavo Dias
André Luiz Martins de Oliveira

UNIVAS

Este e-book nasce do encontro entre a ciência e a prática, entre o laboratório acadêmico e os desafios reais da sociedade. Produzido no âmbito do curso de Sistemas de Informação da UNIVAS, o livro reúne pesquisas e propostas que traduzem a tecnologia em soluções concretas para a saúde e a vida urbana.

Organizadores
Luiz Gustavo Dias
André Luiz Martins de Oliveira

Tecnologia e inovação em saúde e cidades inteligentes: pesquisa aplicada e soluções digitais para
uma sociedade mais humana e sustentável



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

Dias, Luis Gustavo.

Tecnologia e inovação em saúde e cidades inteligentes: pesquisa aplicada e soluções digitais para uma sociedade mais humana e sustentável/ Organização de Luiz Gustavo Dias e André Luiz Martins de Oliveira – Pouso Alegre: Univás, 2026.

106f.

Vários autores

ISBN: 978-65-85924-37-5

1. Tecnologia. 2. Inovação. 3. Saúde. 4. Cidades inteligentes. 5. Soluções digitais. I. André Luiz Martins de Oliveira (org.). II. Título.

CDD – 600

Bibliotecária responsável: Michelle Ferreira Corrêa: CRB/6-3538

PREFÁCIO

Vivemos em um paradoxo: enquanto a tecnologia evolui em ritmo acelerado, elevando a qualidade de vida e a eficiência social, a ciência é constantemente desafiada pela ausência de critério e discernimento que o pensamento científico deve fornecer. Este panorama realça a importância vital de trazer a pesquisa científica aplicada e a interdisciplinaridade — a convergência de saberes — para o centro do debate sobre temas complexos como saúde e sustentabilidade, formando uma geração de profissionais capazes de criar soluções tecnicamente robustas e socialmente responsáveis.

É neste contexto que se insere o presente *e-book*. Ao reunir produções que discutem a aplicação de tecnologias em problemas reais, a obra reforça o compromisso institucional do curso de Sistemas de Informação da UNIVÁS em produzir pesquisa científica aplicada, demonstrando o impacto real da inovação na saúde pública e na gestão inteligente das cidades.

O *e-book* está dividido em duas seções que colaboram muito para a demonstração da convergência de saberes.

A Seção I - Saúde concentra-se na transformação digital do sistema de saúde, buscando sistemas mais integrados, previsíveis e centrados no paciente. O leitor encontrará análises sobre a contribuição das *healthtechs* para a modernização do SUS, bem como o uso de sistemas inteligentes no pronto atendimento hospitalar para aprimorar a comunicação e reduzir erros e tempos de espera. Outro eixo de investigação crucial é a integração tecnológica entre ambulâncias e hospitais, discutindo a comunicação pré-hospitalar e a interoperabilidade de dados para maior segurança e agilidade no atendimento.

Por sua vez, a Seção II - *Smart City* aborda soluções tecnológicas voltadas à gestão urbana e à sustentabilidade. Os artigos exploram a otimização da mobilidade urbana, analisando a aplicação de Inteligência Artificial em semáforos inteligentes para melhorar o fluxo de tráfego e reduzir o tempo de percurso. A obra também detalha o impacto do monitoramento de ônibus em tempo real na previsibilidade das viagens e na qualidade de vida dos usuários. Por fim, um estudo propõe a arquitetura de um ecossistema digital para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que utiliza a inteligência coletiva e a tecnologia para aumentar a taxa de reciclagem no contexto da economia circular.

A riqueza desta obra reside em toda a jornada, da pesquisa, método e suas conclusões, que trazem um alinhamento essencial para o futuro da tecnologia aplicada. As pesquisas reforçam que a inovação digital, apesar de ser um poderoso instrumento de modernização do SUS e de organização urbana, deve sempre caminhar junto da humanização do cuidado e da qualidade do serviço.

Os autores demonstram que o êxito das soluções tecnológicas depende de pilares não menos importantes do que o software em si: a necessidade de investimentos em infraestrutura digital e a capacitação profissional contínua. Fica claro que a tecnologia deve ser intuitiva para não sobrecarregar os profissionais e que a eficiência não pode comprometer a escuta ativa ou a qualidade do vínculo, seja ele com o paciente ou com o cidadão.

Ao materializar este *e-book*, o curso de Sistemas de Informação da UNIVÁS reitera seu compromisso com a pesquisa aplicada e a produção científica voltada ao impacto social. Esta obra é um convite a gestores, profissionais e acadêmicos para que compreendam e explorem as possibilidades de um futuro mais eficiente, seguro e equitativo.

Que a leitura deste material inspire a ação, ao pensamento crítico e científico, transformando a inteligência dos sistemas em soluções reais para os desafios complexos de nossa sociedade, construindo um futuro mais inteligente e humano. Boa leitura!

Túlio Faria - Devpleno

SUMÁRIO

SEÇÃO I – SAÚDE.....	8
TECNOLOGIA A SERVIÇO DA VIDA: INOVAÇÃO E EFICIÊNCIA NA SAÚDE CONTEMPORÂNEA.....	8
<i>Luiz Gustavo Dias.....</i>	<i>8</i>
ANÁLISE DO CENÁRIO TECNOLÓGICO ATUAL DA SAÚDE PÚBLICA BRASILEIRA ..	9
<i>Luiz Felipe Fraga Pereira, Matheus Fernandes Rezende, Yurik Motoyama Rodrigues de Rezende. Orientador: Prof. Me. Geovany Rosa Pires</i>	<i>9</i>
TECNOLOGIA NO ATENDIMENTO HOSPITALAR: UMA PROPOSTA PARA REDUZIR ERROS E TEMPO DE ESPERA	23
<i>Gabriel Fróes, José Marcelo Suzano dos Santos Junior. Orientador: Prof. Welberton Felipe de Siqueira.....</i>	<i>23</i>
OPORTUNIDADES DE MELHORIA TECNOLÓGICA NA COMUNICAÇÃO PRÉ-HOSPITALAR: ANÁLISE PARA INTEGRAÇÃO ENTRE AMBULÂNCIAS E HOSPITAIS	34
<i>Anderson Richard da Silva; Jean Arthur Santos Almeida; Sylvio César Rezende Pereira. Orientador: Prof. Me. Raffael Cleisson de Carvalho.....</i>	<i>34</i>
EXAMYA: REVOLUCIONANDO O DIAGNÓSTICO MÉDICO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	45
<i>Jeremias de Oliveira Nunes. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rios Faria de Oliveira.....</i>	<i>45</i>
ENTRE FREUD E O CHATGPT: DESAFIOS DO VÍNCULO TERAPÊUTICO NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	55
<i>Bruno Daniel da Silva Almeida; Júlio Henrique Pereira Corrêa; Samuel Henrique Siqueira de Paiva. Orientador: Prof. Me. Flávio Belizário da Silva Mota</i>	<i>55</i>
 SEÇÃO II - SMART CITY	 68
A CIDADE INTELIGENTE COMO PARADIGMA DE INOVAÇÃO.....	68
<i>André Luiz Martins de Oliveira</i>	<i>68</i>
DESENVOLVIMENTO E ARQUITETURA DO ECOSYSTEM: UMA SOLUÇÃO DE TI PARA A GESTÃO INTELIGENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	70

<i>Gustavo Henrique Amaral de Almeida; William Eugênio de Paiva. Orientador: Rauni Gonçalves dos Santos</i>	<i>70</i>
IMPACTOS DO MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE ÔNIBUS NA QUALIDADE DE VIDA DOS USUÁRIOS DE TRANSPORTE COLETIVO	85
<i>Carlos Henrique Vieira da Silva; Leonardo Isaias das Chagas; Maicon de Souza Lucas. Orientadora: Profa. Me. Michele de Santana Carmelossi.....</i>	<i>85</i>
SMART TRAFFIC LIGHTS IN BRAZIL: WHEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MEETS THE HUMAN FACTOR.....	96
<i>Lucca de Almeida Rebello Toledo; João Victor dos Santos Pires; Rafael Teixeira Mesquita. Orientadora: Profa. Aline Heloisa Silva Villela.....</i>	<i>96</i>

SEÇÃO I – SAÚDE

TECNOLOGIA A SERVIÇO DA VIDA: INOVAÇÃO E EFICIÊNCIA NA SAÚDE CONTEMPORÂNEA

Luiz Gustavo Dias

A transformação digital tem reconfigurado de forma profunda o modo como a saúde é compreendida, gerida e praticada. Em um cenário marcado por crescentes demandas assistenciais, restrição de recursos e necessidade de respostas rápidas e precisas, a tecnologia surge como uma aliada estratégica na busca por soluções reais e sustentáveis.

No cenário atual é possível observar como sistemas inteligentes, algoritmos de aprendizado de máquina, plataformas de interoperabilidade e ferramentas de apoio à decisão clínica estão redesenhando processos, reduzindo erros e fortalecendo o cuidado centrado no paciente.

Os estudos reunidos nesta seção exploram diferentes faces dessa convergência entre tecnologia e saúde, revelando como a inovação pode contribuir para a superação de gargalos importantes. Do atendimento pré-hospitalar e comunicação entre ambulâncias e hospitais à gestão inteligente de fluxos de emergência, da análise diagnóstica baseada em inteligência artificial ao uso ético de *chatbots* terapêuticos na saúde mental, os trabalhos demonstram que o avanço tecnológico não se limita à automação de tarefas, mas à criação de ecossistemas integrados capazes de ampliar o alcance, a qualidade e a humanização do cuidado.

Mais do que apresentar ferramentas, os capítulos que seguem refletem sobre a aplicação prática da tecnologia para resolver problemas concretos: filas de espera, sobrecarga profissional, falhas de comunicação e desigualdade no acesso à saúde. Ao propor sistemas integrados, modelos de IA e soluções interoperáveis, os autores apontam caminhos para uma saúde mais eficiente, previsível e equitativa que alia precisão técnica à empatia humana.

Essa é, portanto, uma seção que traduz o propósito essencial da inovação: colocar a tecnologia a serviço da vida, tornando o cuidado em saúde não apenas mais inteligente, mas também mais próximo, ágil e seguro para todos.

ANÁLISE DO CENÁRIO TECNOLÓGICO ATUAL DA SAÚDE PÚBLICA BRASILEIRA

Luiz Felipe Fraga Pereira, Matheus Fernandes Rezende, Yurik Motoyama Rodrigues de Rezende.

Orientador: Prof. Me. Geovany Rosa Pires

INTRODUÇÃO

Conforme a tecnologia avança, o setor de saúde encontra-se em um processo de constante transformação, sendo essa causada tanto pela própria tecnologia quanto pelo aumento significativo da necessidade de atendimentos eficientes e de qualidade, e com isso, os avanços das tecnologias tornaram possíveis novos modelos para se trabalhar com o atendimento ao público, mudando a forma como os profissionais e pacientes lidam com o sistema de saúde. Porém, mesmo assim, diversas organizações de saúde passam por dificuldades recorrentes ao lidar com o atendimento aos pacientes.

Nesses casos, surge a importância do papel das *startups*, mais precisamente as *healthtechs*, cuja atuação vem sendo focada no desenvolvimento de soluções inovadoras em áreas como telemedicina, inteligência artificial e gestão, melhorando a experiência dos pacientes, otimizando o trabalho dos profissionais e ajudando a gestão a ter um maior controle quanto aos trabalhos realizados. O Brasil hoje ocupa a sétima posição mundial entre os maiores mercados da área quando o assunto é *healthtechs*, tendo uma maior concentração de *startups* nas regiões Sudeste e Sul, isso revela que a área da saúde tem recebido grandes investimentos e encontra-se em constante crescimento, principalmente *pós-pandemia* de COVID-19.

Apesar da Atenção Primária à Saúde (APS), principal porta de entrada ao Sistema Único de Saúde (SUS), demonstrar avanços significativos de infraestrutura e organização do atendimento, ainda há dificuldades como a falta de profissionais especializados, insuficiência de recursos e baixa integração tecnológica. Além disso, de acordo com pesquisas, a satisfação dos usuários está mais ligada ao tempo de espera e à qualidade do atendimento do que às melhorias estruturais, o que evidencia a necessidade de soluções centradas no paciente.

Dado o contexto prévio, a criação de *startups* voltadas à otimização do atendimento aos pacientes em instituições de saúde de pequeno, médio e, às vezes, de grande porte apresenta uma

oportunidade estratégica. Dependendo da instituição, elas podem possuir sistemas precários e uma demanda grande dos serviços por causa da grande quantidade de pacientes atendidos todos os dias, o que as tornam fortes candidatas a receberem as inovações que melhorem a resolução dos problemas do dia a dia, aumentando a eficiência dos processos. A mudança dos modelos de negócios para modelos baseados em tecnologias pode ser benéfica para as instituições, principalmente quando se trata de gargalos estruturais, e essa evolução pode contribuir para um ambiente mais eficiente. Isso levanta a seguinte questão:

Como se caracteriza o cenário tecnológico nas instituições de saúde pública no Brasil, considerando as instituições de pequeno e médio porte?

Considerando esses pontos, esse artigo tem como objetivo analisar o cenário tecnológico atual da saúde pública brasileira, enfatizando os pontos positivos e os desafios que podem ser encontrados nas instituições de saúde pública e que são enfrentados diariamente pelos profissionais ao exercer suas funções. Além de proporcionar um entendimento de como a tecnologia pode colaborar com esse cenário, sobretudo quando se trata da otimização do processo de atendimento nessas instituições, oferecendo, com isso, uma melhor compreensão da colaboração entre inovação tecnológica e gestão em saúde, contribuindo assim, para a evidência dos gargalos tecnológicos na área.

DESAFIOS, BARREIRAS E O ACESSO AO SISTEMA DE SAÚDE BRASILEIRO

O setor público, especialmente após a criação do Sistema Único de Saúde (SUS), está fortemente presente no sistema de saúde brasileiro, com o objetivo de democratizar o acesso à saúde de forma igualitária. Entretanto, nota-se uma administração ineficiente, além da falta/limitação dos recursos. Esses fatores agregam no aumento do mercado privado, que viu oportunidade de criar alternativas para população que necessita de serviços mais eficientes (Paim *et al.*, 2011).

Há um consenso na literatura sobre as dimensões que compõem o conceito de acesso. Este envolve a disponibilidade de serviços em quantidade suficiente para atender às necessidades da população, a adequação da oferta às condições socioeconômicas dos usuários e o respeito às práticas e valores culturais das comunidades atendidas. Inclui ainda o acolhimento como elemento

essencial para a recepção e escuta qualificada, e a continuidade do cuidado, garantindo que a organização dos serviços permita o percurso e o retorno dos usuários sempre que necessário.

Apesar dos avanços, o acesso à atenção básica ainda é marcado por barreiras estruturais e organizacionais. No âmbito da infraestrutura, destacam-se a distribuição desigual das Unidades Básicas de Saúde (UBS) e a presença de áreas desassistidas, além de obstáculos arquitetônicos que dificultam o atendimento a pessoas com mobilidade reduzida.

Quanto aos recursos humanos, observa-se escassez de profissionais e inadequação dos horários de funcionamento, o que limita a cobertura e a resolutividade dos serviços. O acolhimento também se apresenta como um ponto crítico, pois a ausência de uma escuta qualificada e de um atendimento humanizado compromete a efetividade da atenção primária. Soma-se a isso o tempo de espera prolongado entre o agendamento e a realização das consultas, que reforça a percepção de ineficiência e desestimula a busca pelos serviços públicos.

FRAGMENTAÇÃO, FALHAS E DESAFIOS NO CUIDADO CONTINUADO

Apesar dos avanços alcançados, ainda persistem desafios importantes no funcionamento das Unidades Básicas de Saúde, como a fragmentação do processo de trabalho, a coordenação do cuidado e o acompanhamento contínuo dos pacientes.

No que diz respeito à disponibilidade de profissionais para atendimento médico, uma pesquisa da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2023) apontou que 29% dos municípios brasileiros enfrentam falta de médicos, o que gera sobrecarga nas unidades, força os pacientes a chegarem muito cedo para tentar agendar consultas e compromete a continuidade das equipes de atenção primária.

Além disso, a baixa integração entre os diferentes serviços de saúde ainda se mostra um obstáculo: embora o acesso a serviços especializados dependa de encaminhamentos contendo informações sobre a condição do paciente, as contrarreferências raramente são realizadas, ficando a cargo do próprio paciente levar essas informações, o que dificulta a continuidade e a efetividade do cuidado.

A REALIDADE ESTRUTURAL DA ATENÇÃO PRIMÁRIA

De acordo com as *dificuldades enfrentadas pelos profissionais de saúde no atendimento de emergências em Unidades Básicas de Saúde no Brasil*, de 2023, publicado na *Revista da Universidade Paranaense*, as superlotações nos sistemas de atenção primária à saúde ocorrem, muitas vezes, devido à desorganização estrutural. Entre os principais fatores que contribuem para esses desafios, destacam-se o despreparo das equipes, a falta de infraestrutura adequada, insumos e equipamentos, a carência de profissionais médicos, a falta de contato e apoio entre as Unidades Básicas de Saúde e os setores de emergência hospitalar, além do investimento municipal limitado para a realização desses atendimentos.

Apesar da implementação de leis e decretos, ainda existem problemas graves que prejudicam o fluxo de atendimento entre os diferentes níveis de atenção à saúde e limitam a capacidade de resolver os casos de forma adequada. Frente a esse cenário, torna-se essencial a adoção de estratégias como fluxogramas de atendimento com triagem e classificação de risco, programas de educação continuada para reforço dos protocolos estabelecidos e treinamentos abrangentes em suporte de vida, direcionados a todos os profissionais, desde os funcionários da recepção até médicos e enfermeiros.

DO AGENDAMENTO AO ACOLHIMENTO HUMANIZADO

O tempo de espera para atendimentos e/ou agendamentos de novas consultas, mesmo em casos de urgência, também se mostra como um fator importante, determinando alto risco de insatisfação por parte dos pacientes, agravado pela falta de preparo técnico, relacionamento adequado com os profissionais de saúde e infraestrutura precária nos postos de atendimento. O tempo de espera e as dificuldades no agendamento são apontados como principais fatores de insatisfação dos usuários. “muitas vezes, usuários são obrigados a esperar longos períodos para serem atendidos, mesmo estando muito doentes, e quanto maior o tempo de espera para atendimento, maior o tempo que demora para ter seu problema resolvido” (Cadernos de Saúde Pública, 2019; Ciência & Saúde Coletiva, 2020), a citação reafirma o impacto e a importância do fator no atendimento.

Nesse contexto, as tecnologias digitais têm se mostrado fundamentais para reduzir essas barreiras. Ferramentas como sistemas de agendamento on-line e por telefone permitem que pacientes marquem consultas sem se deslocar até a UBS, melhorando a experiência e aumentando a percepção de acolhimento. Além disso, plataformas digitais que integram informações de prontuários eletrônicos e lembretes automatizados contribuem para otimizar o fluxo de atendimento, reduzir o tempo de espera e possibilitar um acompanhamento mais humanizado do paciente.

O PAPEL DAS STARTUPS DE SAÚDE NA INOVAÇÃO E FORTALECIMENTO DA SAÚDE PÚBLICA BRASILEIRA

A emergência de *startups* de saúde, também conhecidas como *healthtechs*, tem reconfigurado o cenário tecnológico e de inovação na saúde pública brasileira. Esses empreendimentos surgem como agentes catalisadores de transformação, introduzindo soluções ágeis e tecnológicas para desafios históricos do Sistema Único de Saúde (SUS), como acesso, eficiência e qualidade do atendimento. O crescimento desse ecossistema é impulsionado por avanços tecnológicos e por uma demanda crescente por serviços médicos de alta qualidade e acessíveis (Silva *et al.*, 2023). *Startups* brasileiras têm revolucionado o setor por meio de inovações em telemedicina, gestão de doenças crônicas e inteligência artificial, melhorando significativamente a eficiência e ampliando o acesso aos cuidados de saúde, especialmente em regiões remotas e carentes (Silva *et al.*, 2023).

Do ponto de vista estrutural, o perfil dessas *startups* revela uma concentração nas regiões Sudeste e Sul, que juntas abrigam mais de 80% desses empreendimentos, refletindo a diferença regional e econômica do país (Silva *et al.*, 2023). Apesar disso, seu modelo de atuação é majoritariamente B2B (35,46%) e B2B2C (36,84%), indicando que muitas dessas inovações são direcionadas a instituições e ao setor público, potencialmente integrando-se às redes de saúde existentes (Silva *et al.*, 2023). No contexto da saúde pública, as *healthtechs* oferecem respostas concretas a problemas crônicos identificados nas Unidades Básicas de Saúde (UBS), como longos tempos de espera, falta de infraestrutura e despreparo para atendimentos de urgência (Revista Saúde e Pesquisa, 2022). Soluções em agendamento digital, prontuários eletrônicos, teleorientação e protocolos clínicos baseados em IA podem qualificar o atendimento, reduzir filas e melhorar a

gestão dos recursos, muitas vezes sem exigir investimentos de grande escala (Silva *et al.*, 2023; Processus, 2023).

Além disso, o Estado brasileiro tem criado mecanismos legais para fomentar a integração entre o setor público e as *startups* inovadoras. A Lei Complementar nº 182/2021 (Marco Legal das *Startups* e do Empreendedorismo Inovador) instituiu uma modalidade especial de licitação para contratação de testes de soluções inovadoras, permitindo que o poder público avalie a viabilidade de novas tecnologias antes de implementá-las em escala (Gonçalves, 2022), o que teve início no período da pandemia da COVID-19 e intensificou a adoção de tecnologias digitais no Brasil, evidenciando que *startups* podem ser parceiras estratégicas na construção de um sistema de saúde mais eficiente, conforme destacado por Silva *et al.* (2023) e Processus (2023). Essa ação é fundamental para modernizar a gestão pública e democratizar o acesso das *startups* menores às licitações, incentivando a inovação a serviço da saúde coletiva.

Apesar do potencial transformador, persistem desafios importantes, como questões regulatórias, éticas e a necessidade de superar desigualdades regionais (Silva *et al.*, 2023). Além disso, é essencial que as inovações sejam orientadas para as reais necessidades da população e integradas de forma cooperativa ao SUS, que é um sistema universal e baseado nos princípios da integralidade e equidade (Paim *et al.*, 2011). Diante dos gargalos identificados nas seções anteriores, como filas de espera, falhas na gestão e falta de integração entre serviços, as *healthtechs* apresentam soluções ágeis e tecnológicas capazes de reduzir esses problemas. Plataformas de teleatendimento, sistemas de agendamento digital e prontuários eletrônicos podem otimizar o fluxo de atendimento e melhorar a eficiência das Unidades Básicas de Saúde, contribuindo para um SUS mais integrado, acessível e moderno.

Em síntese, as *startups* de saúde possuem um valor estratégico para a modernização e o fortalecimento da saúde pública no Brasil. Ao oferecer tecnologias inovadoras e modelos de gestão mais eficientes, elas não apenas complementam as ações do Estado, mas também aceleram a construção de um sistema de saúde mais acessível, eficiente e preparado para os desafios do século XXI.

METODOLOGIA

A pesquisa foi classificada como exploratória, por buscar ampliar o entendimento sobre o tema “Análise do Cenário Tecnológico Atual da Saúde Pública Brasileira”, ainda pouco aprofundado na produção científica. Conforme aponta Gil (2008), esse tipo de estudo tem como finalidade proporcionar maior conhecimento acerca de um problema, além de favorecer a construção de hipóteses e novos caminhos de análise.

Para alcançar os objetivos, optou-se pela combinação de pesquisa bibliográfica e documental com a realização de uma entrevista estruturada. A etapa bibliográfica envolveu a análise de artigos científicos, relatórios institucionais e documentos legais, voltados tanto para os desafios do Sistema Único de Saúde (SUS) quanto para o papel das *healthtechs*.

Já a entrevista foi classificada como estruturada, porém, com a possibilidade da elaboração do autor, por equilibrar consistência e flexibilidade, permitindo aprofundar informações relevantes e, ao mesmo tempo, abrir espaço para que o entrevistado pudesse trazer sua visão prática sobre o tema (Severino, 2007).

O entrevistado escolhido foi um diretor de saúde com mais de cinco anos de experiência em cargos de liderança e administração de instituições de saúde. Sua contribuição foi considerada essencial devido ao conhecimento prático acerca da influência, positiva ou negativa, do uso de tecnologias no dia a dia das instituições.

O roteiro da entrevista, composto por perguntas abertas, foi elaborado a partir das referências analisadas e organizado em três blocos: Descrição da rotina institucional; Comparação entre práticas anteriores e atuais, com e sem o uso de sistemas digitais; Percepção de satisfação de gestores e pacientes após a adoção tecnológica.

Exemplos de questões propostas incluem:

De que forma o sistema impacta a rotina de trabalho? Ele traz benefícios ou ainda apresenta limitações?

Em comparação ao período em que não havia um sistema informatizado, quais foram as mudanças mais significativas observadas?

Na sua percepção, os pacientes sentiram alguma diferença no atendimento depois da implementação do sistema?

A entrevista foi realizada de forma on-line no dia 28/08/2025, com duração aproximada de 30 minutos. Com a autorização do participante, as perguntas foram enviadas por e-mail, para formalização da entrevista. Além disso, foi assinado um termo de consentimento livre e esclarecido, garantindo os princípios éticos da pesquisa.

A análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa, utilizando o método de análise de conteúdo, que consiste em organizar e interpretar os relatos, a fim de identificar categorias e padrões (Bardin, 2011). Após a transcrição, os relatos foram categorizados por temas, permitindo identificar padrões recorrentes e consolidar uma visão interpretativa do fenômeno investigado.

RESULTADO

Sabe-se que, atualmente, existem grandes dificuldades para o acesso à saúde básica, podendo citar: dificuldades no agendamento de consultas, longos intervalos entre marcação e realização do atendimento, a longa fila de espera mesmo em casos urgentes, como citado por (Cadernos de Saúde Pública, 2019; Ciência & Saúde Coletiva, 2020) e reforçado pelo entrevistado, que afirma que os momentos de lentidão no atendimento geram incômodo nos pacientes. Se tratando do acesso à saúde, é evidenciado que, quando há utilização de ferramentas e sistemas para a melhoria do processo de atendimento, a percepção sobre o acesso e a satisfação por parte do paciente é aprimorada. Questionado sobre o impacto no atendimento após o início da utilização do sistema no dia a dia na perspectiva dos pacientes, o entrevistado apontou que a utilização de ferramentas no processo de atendimento é fortemente percebida, assim como em (Ciência & Saúde Coletiva, 2020), que definem a melhora no acesso à saúde como um conjunto de características que inclui o acolhimento como recurso para a recepção e escuta dos indivíduos, juntamente com a disponibilidade de serviços em quantidade suficiente.

Esse gargalo no acesso à saúde pode ser definido como reflexo de um processo ineficiente e fragmentado, de forma que, apesar dos avanços, ainda persistem grandes desafios nas unidades de saúde. Menezes *et al.* (2024) destaca a fragmentação do processo de trabalho como um grande problema no funcionamento das unidades. Quando perguntado sobre a comparação entre a época em que o processo no atendimento era manual e o atual momento (em que há um sistema integrado neste processo), o entrevistado reforça a ideia de que, com um sistema centralizado, a

acessibilidade às informações ficou melhor: “A maior mudança foi a centralização das informações. Antes havia risco de perda de documentos, agora está tudo registrado e acessível”.

A incorporação da tecnologia na saúde, impulsionada pelas *healthtechs*, apresenta uma dualidade. Por um lado, o potencial de inovação é claro. Soluções em agendamento digital, prontuários eletrônicos e protocolos baseados em inteligência artificial surgem como respostas diretas a problemas históricos das UBS, como os longos tempos de espera e a dificuldade de agendamento, apontados como principais fontes de insatisfação dos usuários (Cadernos de Saúde Pública, 2019; Ciência & Saúde Coletiva, 2020; Silva *et al.*, 2023). Ao "qualificar o atendimento, reduzir filas e melhorar a gestão dos recursos", a tecnologia cumpre seu papel de otimizar processos, tornando o sistema mais organizado. Por outro lado, existe o risco dessas ferramentas criarem uma barreira na relação humana. Como relatado pelo profissional entrevistado, o uso da tela durante o atendimento pode comprometer o contato visual e a escuta ativa, elementos essenciais para um acolhimento humanizado. Portanto, o grande desafio é encontrar um equilíbrio entre aproveitar os benefícios da inovação tecnológica e preservar a qualidade do vínculo entre profissional e paciente, garantindo que a eficiência não comprometa a humanização do cuidado.

A rotina com os sistemas apresenta um cenário de avanços e desafios práticos, facilitando o trabalho ao organizar o registro e permitir um acesso rápido ao histórico dos pacientes. Essa facilidade no acesso ao histórico do paciente é um passo fundamental para superar a grave fragmentação do cuidado encontrada na pesquisa, que é agravada pela falta de integração entre os serviços. Contudo, as dificuldades mencionadas pelo entrevistado, como a lentidão do sistema e a necessidade de treinamento contínuo, revelam obstáculos de implementação. Esses problemas estão diretamente ligados à infraestrutura tecnológica deficiente das unidades de saúde e à necessidade de investimento em capacitação das equipes. Dessa forma, a experiência com os sistemas encontrados nas unidades de saúde demonstra que a tecnologia é benéfica, mas seu sucesso depende de suporte estrutural e educacional contínuo.

O ganho de agilidade na busca de informações é um benefício tangível que se alinha diretamente com o potencial das *healthtechs* de melhorar a eficiência e qualificar o atendimento. Esse avanço opera uma mudança significativa: substitui o tempo gasto na busca manual em arquivos físicos, um processo sujeito a perdas e atrasos, por um acesso rápido e centralizado aos dados do paciente. Isso contribui para reduzir uma das fontes de pressão identificadas, como a necessidade de comparecerem muito cedo às unidades para conseguir agendamento e a dificuldade

de garantir a continuidade do cuidado devido à falta de informações integradas. Porém, introduziu uma nova fonte de pressão: a digitação constante e as exigências do sistema, que podem aumentar o nível de estresse e que competem com o tempo dedicado ao paciente, podendo comprometer o acolhimento humanizado. Dessa forma, a tecnologia redistribui as pressões existentes, em vez de eliminá-las, sendo desafiador garantir que os ganhos em eficiência não sejam anulados pela burocracia digital que sobrecarrega os profissionais.

Na discussão sobre a necessidade de investimentos em tecnologia na saúde, o entrevistado destacou que muitas unidades básicas ainda enfrentam limitações estruturais significativas, como computadores desatualizados, internet instável, falta de insumos, suporte técnico insuficiente e carência de capacitação das equipes. Esses fatores interferem diretamente na organização do atendimento e podem comprometer a eficiência do cuidado prestado aos pacientes de acordo com Paim *et al.* (2019). Diante desse cenário, fica evidente que investimentos estratégicos em tecnologia e na capacitação das equipes são essenciais, não apenas para melhorar a organização das unidades, mas também para ampliar a atenção direta e qualificada ao paciente, promovendo um cuidado mais eficiente e seguro.

O entrevistado apontou que, embora o sistema PEC centralize e consolide os dados dos pacientes, ele exige múltiplos passos e diferentes telas para acessar cada informação, tornando o processo mais demorado e pouco intuitivo. Uma parte considerável do tempo da equipe é consumida por tarefas administrativas, limitando a atenção disponível para o acompanhamento direto dos pacientes. Essa situação revela um desafio cotidiano nas unidades básicas, em que os profissionais precisam dividir seu tempo entre registrar informações e oferecer cuidado clínico, muitas vezes em contextos de alta demanda e fluxo intenso de pacientes. A utilização de sistemas digitais pouco integrados ou complexos tem se mostrado um fator que sobrecarrega a equipe, dificulta a continuidade do atendimento e aumenta o retrabalho, comprometendo a eficiência na gestão das informações, conforme apontado na pesquisa. Interfaces mais simples, intuitivas e funcionais poderiam acelerar o registro de dados, organizar o fluxo de trabalho e permitir que os profissionais dediquem mais tempo ao atendimento humanizado e à qualidade do cuidado, melhorando tanto a experiência do paciente quanto a rotina da equipe.

O entrevistado sugeriu que a adoção de prontuários integrados entre diferentes níveis de atenção, associada a ferramentas de telemedicina e aplicativos de comunicação com os pacientes, poderia melhorar significativamente o acompanhamento clínico. Ele ressaltou que a integração

digital facilitaria a circulação eficiente de informações entre serviços, reduziria falhas de comunicação e permitiria um monitoramento mais contínuo do estado de saúde dos pacientes. Essa proposta está alinhada com a literatura, que aponta que soluções digitais integradas são capazes de otimizar a gestão das unidades, fortalecer a coordenação do cuidado e tornar o acesso aos serviços de saúde mais ágil e eficiente, especialmente quando acompanhadas de capacitação das equipes (Texto & Contexto Enfermagem, 2021; Atoz, 2023). A implementação dessas tecnologias no cotidiano das unidades básicas pode tornar o atendimento mais estruturado, eficiente e centrado no paciente, além de aliviar a carga administrativa da equipe e contribuir para uma prática mais organizada, segura e humanizada.

CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o panorama atual da tecnologia aplicada à saúde pública no Brasil, com ênfase em instituições de pequeno e médio porte. A principal questão abordada foi compreender de que forma as tecnologias, impulsionadas em grande medida pelas *healthtechs*, podem contribuir para enfrentar os desafios históricos do Sistema Único de Saúde (SUS).

Os resultados indicam que, embora haja avanços significativos, persistem obstáculos relevantes, como a fragmentação do cuidado, insuficiência de recursos estruturais e a necessidade de capacitação contínua das equipes. As *healthtechs* podem atuar como instrumentos de modernização e fortalecimento do SUS, demonstrando um impacto positivo direto na redução de tempos de espera, na organização do fluxo de atendimento e na satisfação dos pacientes.

Constatou-se que a adoção tecnológica deve ser compreendida não apenas como uma modernização administrativa, mas como parte de uma transformação institucional voltada à humanização do atendimento. Evidencia-se que a integração de soluções digitais, como sistemas de agendamento, prontuários eletrônicos e telemedicina, pode reduzir tempos de espera, organizar o fluxo de atendimento e aumentar a satisfação dos pacientes.

Além disso, observou-se que as *healthtechs* desempenham papel estratégico como parceiras do setor público, oferecendo soluções ágeis e sustentáveis como sistemas de agendamento digital, prontuários eletrônicos integrados e telemedicina que podem modernizar a gestão, integrar serviços e ampliar o acesso à saúde. Ressalta-se que o êxito dessas iniciativas depende de investimentos em

infraestrutura, capacitação contínua das equipes e desenvolvimento de ferramentas intuitivas que aliem eficiência à qualidade do cuidado.

Apesar do potencial transformador, persistem desafios importantes, como desigualdades regionais, necessidade de adaptação das inovações à realidade institucional e social, e integração entre diferentes níveis de atenção. Esses fatores reforçam que a tecnologia, isoladamente, não garante melhorias; seu uso deve estar alinhado às necessidades reais da população e às diretrizes do SUS.

As principais limitações referem-se ao caráter exploratório da pesquisa e ao número reduzido de fontes e entrevistas utilizadas. Recomenda-se que estudos futuros ampliem a amostra, incluindo gestores, profissionais de saúde de diferentes níveis de atenção e pacientes, além de analisar experiências regionais de implementação tecnológica. Essa abordagem permitirá aprofundar a compreensão sobre o impacto efetivo da inovação digital na saúde pública brasileira e oferecer subsídios para a construção de um SUS mais integrado, eficiente e humanizado.

REFERÊNCIAS

ACCELERANDO a inovação no setor público: a nova modalidade de licitação inaugurada pela Lei Complementar nº 182/2021 – Marco Legal das Startups e do Empreendedorismo Inovador. Revista Nuped, [S. l.], 2022. Disponível em:

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (Brasil). Falta de médicos nos municípios brasileiros: um estudo sobre a carência de profissionais na Atenção Básica à Saúde. Brasília, DF: CNM, 2023. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2025.

CONTROLE de qualidade em atenção primária à saúde. I – A satisfação do usuário. Cadernos de Saúde Pública, [S. l.], 2019. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

CROWDSOURCING e uberização: um estudo de caso sobre a startup Docway. Revista de Administração e Inovação, [S. l.], 2021. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

DETERMINANTES da satisfação no atendimento das Unidades Básicas de Saúde (UBS). Ciência & Saúde Coletiva, [S. l.], 2020. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

DIFICULDADES enfrentadas pelos profissionais de saúde no atendimento de emergências em Unidades Básicas de Saúde no Brasil. Revista Saúde e Pesquisa, [S. l.], 2022. Disponível em:

EMPREENDEDORISMO na medicina: o crescimento das clínicas privadas e startups de saúde no Brasil. Caderno Pedagógico, [S. l.], 2024. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MENEZES, L. L. *et al.* Análise da percepção de profissionais do Sistema Único de Saúde sobre a teleinterconsulta no município de Campo Grande/MS. Ciência & Saúde Coletiva, [S. l.], 2024. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2025.

PAIM, Jairnilson *et al.* The Brazilian health system: history, advances, and challenges. The Lancet, v. 377, n. 9779, p. 1778–1797, 2011. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, R. A. da; OLIVEIRA, M. L. de; SANTOS, P. F. dos; *et al.* Startup e inovação: uma análise do cenário das startups de saúde e bem-estar no Brasil. AtoZ: Novas Práticas em Informação e Conhecimento, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 55–67, 2023. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2025.

SOUZA, L. E. P. F. *et al.* Como os brasileiros acessam a Atenção Básica em Saúde: evolução e adversidades no período recente (2012–2018). *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, p. 1761–1772, 2020. Disponível em: Acesso em: 12 set. 2025.

TECNOLOGIA NO ATENDIMENTO HOSPITALAR: UMA PROPOSTA PARA REDUZIR ERROS E TEMPO DE ESPERA

Gabriel Fróes, José Marcelo Suzano dos Santos Junior. Orientador: Prof. Welberton Felipe de Siqueira

INTRODUÇÃO

O setor de saúde, especialmente em serviços de pronto atendimento, enfrenta desafios operacionais crônicos que impactam diretamente a qualidade do cuidado. Longas filas de espera, falhas de comunicação e erros processuais não apenas diminuem a satisfação dos pacientes, mas também comprometem a segurança e sobrecarregam os profissionais. Embora as longas filas sejam o sintoma mais visível, elas frequentemente indicam um problema subjacente mais grave: a falha na comunicação e na priorização dos atendimentos, que gera um descompasso entre a necessidade clínica do paciente e a resposta da equipe de saúde.

A gravidade dessa ineficiência sistêmica é validada por pesquisas recentes. Um estudo de Mussi e Krudycz (2024), que analisou mais de 167 mil atendimentos em um pronto-socorro, revelou um achado alarmante: não houve diferença estatística significativa nos tempos de espera para pacientes classificados como emergência, muito urgente ou urgente.

Essa ausência de priorização na prática expõe uma perigosa descoordenação entre a criticidade do paciente, determinada na triagem, e a agilidade do atendimento médico. Tal cenário não apenas contraria os protocolos de acolhimento, mas, fundamentalmente, expõe os pacientes a riscos severos, uma vez que a demora no atendimento de casos graves pode comprometer o prognóstico e a segurança do cuidado.

Diante de um fluxo de informações fragmentado e dependente de processos manuais, a aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) surge como uma resposta estratégica. A substituição da comunicação verbal ou baseada em papel por um fluxo de dados digital e instantâneo é fundamental para garantir que a criticidade de um paciente, identificada na triagem, seja transmitida de forma ágil e precisa para toda a equipe. Essas tecnologias funcionam como uma ferramenta de apoio à decisão clínica, permitindo condutas terapêuticas mais qualificadas e seguras.

Com base no exposto, o objetivo principal deste artigo é propor um modelo conceitual de sistema inteligente que melhore a comunicação entre as equipes de triagem e médica em serviços de pronto atendimento. Para isso, busca-se alcançar os seguintes objetivos específicos: (i) analisar os desafios do processo de atendimento manual que representam riscos à segurança do paciente; (ii) descrever a ideia de uma solução tecnológica capaz de transmitir informações críticas em tempo real; e (iii) discutir o potencial da proposta para aumentar a eficácia operacional das equipes de saúde.

A importância deste estudo se desdobra em múltiplas dimensões. Socialmente, a pesquisa aborda um problema crítico que afeta diretamente a segurança do paciente em um contexto onde o tempo-resposta é um fator determinante para a vida. Do ponto de vista prático e organizacional, o modelo conceitual proposto oferece uma solução de baixo custo e alta escalabilidade, pensada para a realidade de hospitais brasileiros, incluindo os do Sistema Único de Saúde (SUS), frequentemente sobrecarregados e com recursos limitados. A implementação de um sistema com *dashboard* centralizado permitiria otimizar o fluxo de trabalho, reduzir o tempo gasto em tarefas manuais e garantir que a priorização de casos urgentes se traduza em atendimento imediato, mitigando riscos clínicos e operacionais. Academicamente, a contribuição deste trabalho preenche uma lacuna teórica significativa: enquanto a maior parte da literatura se concentra no desenvolvimento de algoritmos para aumentar a acurácia da classificação de risco, este estudo foca na integração sistêmica e na comunicação intersetorial. A proposta avança na discussão ao argumentar que a eficácia de um sistema inteligente não reside apenas na sua capacidade analítica, mas na sua habilidade de conectar os elos do processo de cuidado, resolvendo o gargalo de comunicação que invalida a precisão da triagem e que ainda é pouco explorado em soluções tecnológicas para serviços de emergência.

DA CLASSIFICAÇÃO À AÇÃO: A CRISE SILENCIOSA NA COMUNICAÇÃO EM EMERGÊNCIAS

O setor de saúde, especialmente em seus serviços de pronto atendimento, opera sob a pressão constante de um paradoxo: enquanto a tecnologia e os protocolos clínicos avançam, a experiência do paciente e a segurança do cuidado muitas vezes são comprometidas por gargalos operacionais crônicos. A superlotação, as longas filas e os erros processuais são sintomas de uma

disfunção sistêmica mais profunda, que reside não na falta de conhecimento clínico, mas na fragmentação da comunicação e na falha em traduzir a prioridade, definida na triagem, em uma ação médica ágil e coordenada. Este capítulo explora as bases teóricas que contextualizam essa falha crítica, justificando a necessidade de um sistema inteligente focado em restabelecer a conexão entre os elos do processo de cuidado.

A PROMESSA QUEBRADA: GESTÃO DE FLUXO E A FALHA NA PRIORIZAÇÃO EM SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA

A complexidade e a alta demanda dos serviços de pronto atendimento impuseram a necessidade de mecanismos organizacionais para gerenciar o fluxo de pacientes, evitando que a ordem de chegada se sobreponha à urgência clínica. Nesse cenário, o Acolhimento com Classificação de Risco (ACCR) emergiu como uma ferramenta estratégica no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), com o objetivo de organizar o fluxo de pacientes, priorizar o atendimento com base na gravidade e, fundamentalmente, reduzir os riscos associados à espera. A premissa do ACCR é simples e poderosa: garantir que o tempo-resposta da equipe de saúde seja inversamente proporcional à criticidade do quadro clínico do paciente, assegurando a manutenção da vida e aliviando o sofrimento de forma equânime.

Contudo, a eficácia teórica desses protocolos esbarra em uma dura realidade operacional. Estudos recentes demonstram uma perigosa desconexão entre a classificação de risco e o tempo de espera efetivo para o atendimento médico. Uma pesquisa de grande escala conduzida por Mussi e Krudycz (2024), que analisou mais de 167 mil atendimentos, revelou um achado alarmante: não houve diferença estatística significativa nos tempos de espera para pacientes classificados como emergência, muito urgente ou urgente. Pacientes com risco iminente de vida (emergência) esperaram, em média, 17,02 minutos, enquanto casos muito urgentes aguardaram 16,75 minutos e os urgentes, 19,17 minutos. Essa ausência de priorização na prática invalida o propósito central da triagem e expõe os pacientes a riscos severos, uma vez que a agilidade no atendimento é um fator determinante para o prognóstico.

Essa ineficiência não é um caso isolado, mas parece indicar um problema sistêmico de adesão e execução dos protocolos. Um estudo comparativo realizado por Deus *et al.* (2018) avaliou a concordância entre a classificação de risco realizada por profissionais de um pronto-socorro e

uma reanálise feita por especialistas com base no protocolo institucional. O resultado, medido pelo coeficiente de Kappa, foi de apenas 0,16, indicando uma "ligeira concordância". Isso significa que as triagens não estavam sendo realizadas de acordo com as próprias diretrizes da instituição, o que compromete a segurança e a qualidade da assistência.

Esses gargalos são exacerbados nos hospitais brasileiros, que enfrentam desafios como a superlotação crônica, muitas vezes causada pela alta procura por atendimentos de baixa e média complexidade que poderiam ser resolvidos na atenção básica. No estudo de Mussi e Krudycz (2024), observou-se que aproximadamente 84,43% dos atendimentos eram de pacientes com risco intermediário ou baixo, sobrecarregando a estrutura médica e de enfermagem e impedindo que os casos prioritários recebam a devida atenção. Essa realidade, somada à pressão por atendimento e a um ambiente caótico, pode perturbar o processo de tomada de decisão dos profissionais de saúde.

Diante desse cenário, a aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) surge como uma resposta estratégica. Em um contexto de recursos frequentemente limitados, como o do SUS, soluções de baixo custo e alta escalabilidade são fundamentais para otimizar o fluxo de trabalho e garantir que a priorização de casos urgentes se traduza em atendimento imediato. A tecnologia, portanto, não é um fim em si mesma, mas um meio para superar as barreiras operacionais que impedem a entrega de um cuidado seguro e eficiente.

CONECTANDO OS PONTOS: SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E O FLUXO DE INFORMAÇÃO EM TEMPO REAL

A transição de processos manuais, baseados em papel ou comunicação verbal, para um fluxo de dados digital e instantâneo é fundamental para mitigar os erros e as demoras que caracterizam a gestão de emergências. As TICs, nesse contexto, materializam-se sob a forma de Sistemas de Apoio à Decisão Clínica (SADC), ou *Clinical Decision Support Systems* (CDSS), que são aplicações projetadas para aprimorar a prestação de cuidados de saúde ao integrar conhecimento clínico, dados do paciente e outras informações relevantes no processo de tomada de decisão. Um SADC não visa substituir o raciocínio humano, mas sim potencializá-lo, oferecendo aos profissionais critérios objetivos e informações em tempo real para embasar suas ações em um ambiente de alta pressão.

O modelo conceitual proposto neste artigo se enquadra na categoria de SADC não baseados em conhecimento, que aplicam Inteligência Artificial (IA) ou *Machine Learning* (ML) para analisar dados e identificar padrões, em oposição aos sistemas baseados em regras programadas (ex: "SE-ENTÃO"). A proposta central é a implementação de um *dashboard* centralizado, uma ferramenta de visualização que consolida informações críticas e as apresenta de forma clara e acessível para toda a equipe.

Dashboards funcionam como um painel de controle operacional, permitindo o monitoramento em tempo real do status de cada paciente no fluxo de atendimento desde a triagem até a consulta, exames, medicação e reconsulta.

A importância de tal sistema reside na sua capacidade de promover a integração sistêmica e a comunicação intersetorial. Estudos baseados na filosofia *Lean Healthcare*, que buscam a eliminação de desperdícios em processos de saúde, frequentemente identificam a falta de comunicação entre departamentos como um gargalo crítico. Mendes *et al.* (2023), ao aplicarem o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) em um hospital de referência, identificaram que a espera e a falta de completude de informações eram resultado direto de uma comunicação ineficiente entre o médico, a triagem, a farmácia e o laboratório. A demora na entrega de laudos, a prescrição de medicamentos indisponíveis e a dificuldade em localizar o paciente para reconsulta são exemplos de desperdícios gerados por essa fragmentação.

A solução proposta por Mendes *et al.* (2023) converge diretamente com os objetivos deste trabalho: a criação de um sistema de gerenciamento visual que cria um fluxo de informação "puxado". Nesse modelo, o sistema sinaliza ativamente ao médico quando um paciente está pronto para a próxima etapa (por exemplo, quando os resultados dos exames estão disponíveis), em vez de depender que o médico ou a equipe de enfermagem busquem ativamente essa informação. Isso garante que a informação crítica seja transmitida de forma ágil e precisa, permitindo que a equipe atue proativamente, otimize o fluxo de trabalho e reduza drasticamente o tempo de permanência desnecessário do paciente no sistema. A tecnologia, portanto, atua como o elo que conecta os silos funcionais, transformando um conjunto de etapas desconexas em um processo de cuidado contínuo e integrado.

PARA ALÉM DA ACURÁCIA: IDENTIFICANDO A LACUNA DA COMUNICAÇÃO NA LITERATURA

A literatura científica sobre a aplicação de IA e ML em serviços de emergência tem crescido exponencialmente. No entanto, uma análise crítica do estado da arte revela um foco predominante em uma fase específica do processo: a acurácia da classificação de risco na triagem. Inúmeros estudos se dedicam a desenvolver e validar algoritmos capazes de prever a urgência do paciente com alta precisão, utilizando técnicas como redes neurais, *deep learning* e processamento de linguagem natural.

Uma revisão sistemática de estudos prospectivos realizada por Yi *et al.* (2024) demonstrou que modelos de ML alcançaram uma acurácia de predição na triagem que varia de 80,5% a 99,1%. Outras revisões corroboram essa tendência, destacando o potencial dos algoritmos para superar métodos manuais na detecção de níveis de urgência e na previsão de desfechos clínicos, como a necessidade de internação. O campo de pesquisa, portanto, tem se concentrado massivamente em otimizar a capacidade analítica do "cérebro" do sistema.

É precisamente aqui que a lacuna teórica e prática se manifesta, e onde este trabalho se posiciona. Conforme evidenciado pelos estudos de Mussi e Krudycz (2024) e Deus *et al.* (2018), uma triagem de alta precisão se torna inócua se a informação que ela gera não for efetivamente comunicada e utilizada para orquestrar o atendimento subsequente. O gargalo crítico não está na análise, mas na comunicação; não na classificação, mas na ação. A maior parte da literatura assume que uma triagem precisa levará automaticamente a um atendimento priorizado, ignorando a descoordenação operacional que ocorre entre a triagem e a consulta médica.

Este artigo argumenta que a verdadeira inovação e seu maior impacto na segurança do paciente não reside apenas no desenvolvimento de algoritmos mais inteligentes, mas na criação de sistemas que garantam a conectividade entre os elos do processo de cuidado. A eficácia de um sistema inteligente não deve ser medida somente por sua acurácia analítica, mas por sua capacidade de resolver o gargalo de comunicação que invalida a precisão da triagem. Enquanto a literatura se concentra em aperfeiçoar o diagnóstico inicial, este estudo foca em garantir que esse diagnóstico seja ouvido, visto e transformado em cuidado no tempo certo.

Ao propor um modelo conceitual de sistema inteligente centrado na comunicação intersetorial e na visualização de dados em tempo real, este trabalho preenche uma lacuna

fundamental. Ele desloca o foco da otimização de um único ponto do processo (a triagem) para a otimização do fluxo de valor completo do paciente, abordando um problema que, embora pouco explorado em soluções tecnológicas, é a causa raiz de muitas das ineficiências e riscos presentes nos serviços de emergência.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória, buscando aprofundar a compreensão sobre a falha de comunicação nos serviços de pronto atendimento, um tema que demanda novas perspectivas de análise (Gil, 2008). Para alcançar tal objetivo, o procedimento metodológico adotado foi a realização de uma entrevista semiestruturada, técnica que permite a coleta de dados aprofundados sobre a vivência do participante, mantendo a flexibilidade para explorar nuances do fenômeno estudado (Severino, 2007).

Foi selecionada para a entrevista uma enfermeira especialista com ampla vivência na triagem de um pronto atendimento, perfil considerado estratégico por seu contato direto com os gargalos operacionais investigados. O instrumento de coleta foi um roteiro com perguntas abertas, organizado em três eixos: (i) Diagnóstico do Problema no Fluxo Atual, (ii) Impacto Operacional e Clínico, e (iii) Perspectivas sobre Soluções Ideais. A entrevista foi conduzida de forma remota, com o diálogo sendo devidamente registrado mediante consentimento prévio da participante para fins acadêmicos.

Os dados coletados foram tratados por meio da análise de conteúdo (Bardin, 2011). Após a transcrição, o material foi codificado e organizado em categorias temáticas que emergiram da fala da especialista, destacando-se: a ineficiência dos processos manuais, o gargalo crítico de comunicação entre enfermagem e equipe médica, o impacto na segurança do cuidado e os requisitos para um sistema digital integrado. Essa análise permitiu conectar a evidência prática com o referencial teórico, validando a necessidade e os componentes do modelo conceitual proposto neste artigo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e analisa os dados coletados na entrevista com a enfermeira especialista, estabelecendo uma conexão direta entre a evidência empírica e o referencial teórico. O objetivo é validar, no campo prático, os desafios sistêmicos levantados, demonstrando como a vivência da profissional na linha de frente do cuidado espelha e aprofunda a problemática da falha de comunicação em serviços de emergência. A fala da especialista não apenas confirma as hipóteses, mas revela a urgência de uma solução que transcenda a otimização de etapas isoladas e reestruture o fluxo de informação como um todo.

A investigação de campo expôs um processo de atendimento profundamente fragmentado, sustentado por práticas manuais que geram desperdício e introduzem riscos operacionais. A especialista descreve o ponto de partida do fluxo de forma emblemática: "Quando chega tem que buscar a ficha de papel na recepção para realizar a triagem, e a recepção escreve a ficha toda à mão no papel". Este relato materializa a ineficiência crônica que sobrecarrega os profissionais. Essa dependência de processos manuais, que inclui digitação de queixas, impressão de documentos e o deslocamento físico da enfermeira, representa um desperdício de tempo e movimentação, conceitos amplamente combatidos em abordagens de otimização como o *Lean Healthcare*. Conforme apontado por Mendes *et al.* (2023), a eliminação de tais atividades que não agregam valor é fundamental para melhorar o fluxo do paciente.

O ponto mais crítico validado pela entrevista foi o gargalo de comunicação entre a triagem e a equipe médica, que invalida na prática a priorização definida. O relato da enfermeira sobre um caso de alta gravidade ilustra a perigosa desconexão do sistema: "Paciente com suspeita de infarto, fez triagem, verificou sinais e colocou a identificação amarela (urgente) mas a doutora não viu pois estava atendendo outros pacientes". Esta vivência é a comprovação empírica e qualitativa dos alarmantes achados de Mussi e Krudycz (2024), que apontaram a ausência de diferença estatística nos tempos de espera para casos de criticidade distinta. Além disso, essa falha na execução reflete uma baixa aderência ao propósito do protocolo, um problema também identificado por Deus *et al.* (2018), cujo estudo revelou que as triagens frequentemente não seguem as próprias diretrizes da instituição, comprometendo a segurança. A informação, embora corretamente classificada, torna-se "invisível" ao médico, presa em um sistema passivo que depende de uma verificação manual. A necessidade de recorrer a soluções improvisadas, como o envio de "mensagem no *Whatsapp* para

a médica enxergar as fichas", é um sintoma contundente da falência do canal de comunicação oficial.

Essa falha operacional reverbera diretamente na segurança do paciente, transformando a ineficiência em um risco clínico real. A especialista foi categórica ao afirmar que a resolução do problema permitiria "prevenir maiores sequelas aos pacientes (exemplo: paciente do infarto relatado)", conectando de forma inequívoca o gargalo de comunicação a desfechos que podem comprometer a vida. Fica evidente que a discussão transcende a mera otimização de processos e aborda a essência da missão de um serviço de emergência: garantir que o tempo-resposta seja um reflexo direto da necessidade clínica, mitigando danos e salvando vidas.

Finalmente, ao ser questionada sobre a solução ideal, a especialista descreveu, com notável precisão, os componentes centrais do modelo conceitual proposto neste artigo. Sua visão de um sistema onde a ficha "cai direta no sistema no computador" e a informação da triagem "pinga direto no da médica" é a personificação de um Sistema de Apoio à Decisão Clínica (SADC) focado na comunicação em tempo real. Sua proposta de eliminar a digitação manual através de "abas que pudesse selecionar" e de remover o papel com "assinatura digital" alinha-se perfeitamente com a busca por eficiência.

Mais importante, a justificativa para tal sistema: "A médica iria ver o que tem de não urgente e se tiver urgência ela consegue visualizar e parar uma consulta leve para atender a urgência" valida o argumento central deste trabalho. Essa dinâmica cria um fluxo de informação "puxado", onde o sistema notifica ativamente a equipe, permitindo um gerenciamento visual e proativo dos pacientes, uma solução alinhada às propostas de Mendes *et al.* (2023) para a criação de um *dashboard* de gestão. A solução, portanto, não visa apenas modernizar, mas empoderar a equipe médica com visibilidade e controle, garantindo que a tecnologia sirva ao seu propósito fundamental: conectar os elos do processo de cuidado e assegurar que a criticidade identificada na triagem se converta, sem demora, em ação clínica.

CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo propor um modelo conceitual de sistema inteligente para resolver a falha de comunicação entre as equipes de triagem e médica em serviços de pronto atendimento. A investigação partiu da ideia de que o principal gargalo operacional não está na

qualidade da classificação de risco, mas na falta de coordenação que impede que a prioridade de um paciente se transforme em um atendimento rápido.

Os resultados, vindos da entrevista com a enfermeira especialista, confirmaram na prática a existência desse grave gargalo. A análise mostrou que processos manuais, como o uso de fichas de papel, e a falta de um sistema de notificação em tempo real, criam uma barreira que impede a equipe médica de enxergar e priorizar casos urgentes. O relato de uma suspeita de infarto que não foi vista a tempo pela médica é um exemplo claro de como a ineficiência do fluxo de informação afeta diretamente a segurança do paciente.

Conclui-se, assim, que a eficácia dos protocolos de triagem é limitada pela ausência de uma ferramenta tecnológica que conecte as etapas do cuidado. A adoção de um sistema inteligente, com um painel de controle centralizado e notificações em tempo real, é uma solução estratégica para transformar um fluxo de informações passivo em um sistema de gestão ativo e seguro. Esses achados na prática confirmam a análise de Mussi e Krudycz (2024), ao mostrarem por que não há diferença nos tempos de espera para pacientes críticos, e dão suporte às soluções de gestão visual propostas por Mendes *et al.* (2023).

A contribuição deste trabalho é, portanto, dupla: teórica e prática. Academicamente, ele preenche uma lacuna importante ao focar na resolução do gargalo de comunicação, um tema ainda pouco explorado em comparação com os estudos sobre a precisão dos algoritmos de triagem. Na prática, o estudo oferece um modelo conceitual de baixo custo e alta escalabilidade, pensado para a realidade dos hospitais brasileiros, que pode ajudar gestores a planejar e implementar soluções que otimizem o tempo-resposta e reduzam riscos clínicos.

Como limitação, a pesquisa se baseou em uma única entrevista. Embora o relato tenha sido fundamental para validar o problema, a perspectiva de outros profissionais, como médicos e gestores, não foi incluída. Sugere-se, para pesquisas futuras, ampliar o número de participantes para se ter uma visão mais completa do cenário. Além disso, um próximo passo natural seria o desenvolvimento de um protótipo do sistema e a realização de um estudo de caso para avaliar seu impacto real na redução do tempo de espera e na melhoria da segurança do paciente.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.

DEUS, Gabriel Alves de *et al.* Acolhimento com avaliação e classificação de risco em um pronto socorro: estudo comparativo. *Arquivos de Ciências da Saúde*, v. 25, n. 2, p. 20-23, 2018.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LEONARD, Fiona *et al.* Supporting clinical decision making in the emergency department for paediatric patients using machine learning: A scoping review protocol. *PLOS ONE*, v. 18, n. 11, p. e0294231, 2023.

MENDES, Lúcio Galvão *et al.* Aplicação do mapeamento de fluxo de valor e Lean Healthcare na emergência de um hospital de referência regional. *Exacta*, v. 21, n. 4, p. 926-952, out./dez. 2023.

MENDONÇA, Renata Rodrigues *et al.* Tecnologia de informação para atendimento de urgência e emergência: Revisão integrativa. *Revista Electrónica Enfermería Actual en Costa Rica*, n. 42, p. 1-19, jan./jun. 2022.

MUSSI, Fabricio Baron; KRUDYCH, Laís Carolini. Atendimentos priorizados e redução do tempo de espera: proposta de melhorias em um pronto atendimento. *Ágora: Revista de Divulgação Científica*, v. 29, p. 214-232, 2024.

SEVERINO, Antônio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

YI, Nayeon; BAIK, Dain; BAEK, Gumhee. The effects of applying artificial intelligence to triage in the emergency department: A systematic review of prospective studies. *Journal of Nursing Scholarship*, v. 57, p. 105-118, 2025.

OPORTUNIDADES DE MELHORIA TECNOLÓGICA NA COMUNICAÇÃO PRÉ-HOSPITALAR: ANÁLISE PARA INTEGRAÇÃO ENTRE AMBULÂNCIAS E HOSPITAIS

Anderson Richard da Silva; Jean Arthur Santos Almeida; Sylvio César Rezende Pereira.

Orientador: Prof. Me. Raffael Cleisson de Carvalho

INTRODUÇÃO

A comunicação entre equipes pré-hospitalares e unidades hospitalares constitui fator crítico para garantir eficiência, segurança e qualidade no atendimento a pacientes em situações de urgência e emergência. A literatura recente aponta que atrasos ou falhas nesse processo, em especial a prática rotineira de transmitir informações de forma exclusivamente verbal, podem prejudicar a qualidade do cuidado, elevar riscos e gerar ineficiências operacionais (Francisco *et al.*, 2024, p. 2).

O avanço das tecnologias digitais possibilita a integração de sistemas e dispositivos capazes de viabilizar a troca de informações de forma mais célere e precisa, desde o local do evento até a recepção hospitalar. Pesquisas que investigam necessidades e desafios no compartilhamento de informação indicam que a comunicação pré-hospitalar constitui uma etapa crítica para a eficiência do atendimento e que persistem ineficiências na prática corrente, o que reforça a urgência em projetar soluções tecnológicas orientadas pelas demandas reais dos usuários (Zhang *et al.*, 2021, p. 1254).

A relevância prática do tema é respaldada por estudos de *design* participativo que identificaram funcionalidades concretas capazes de otimizar a coordenação entre as equipes e preparar a recepção antes da chegada do paciente, como a transmissão de vídeo do cenário, o envio estruturado de dados textuais (sinais vitais, medicamentos administrados, tempo estimado de chegada), ferramentas para anotação integrada e canais de mensagens curtas. Quando tais recursos são articulados aos fluxos hospitalares, diminuem as incertezas e favorecem a tomada de decisão antecipada (Bai *et al.*, 2024, p. 154-156).

Todavia, revisões sistemáticas e estudos de implementação também ressaltam obstáculos práticos que condicionam a viabilidade das soluções propostas, entre eles desafios de usabilidade, arquiteturas de sistemas inadequadas e dificuldades de adaptação aos fluxos de trabalho existentes.

Por essa razão, além do desenho técnico, revela-se necessário verificar a efetividade técnica, organizacional e operacional das intervenções em contextos reais (Francisco *et al.*, 2024, p. 6-8).

Dessa forma, a questão central desta pesquisa consiste em analisar em que medida a integração tecnológica entre as equipes pré-hospitalares e a recepção hospitalar é viável, bem como os mecanismos pelos quais essa integração pode contribuir para a melhoria da eficiência comunicativa e da preparação das equipes hospitalares.

O estudo tem como objetivo geral avaliar a viabilidade da integração tecnológica entre equipes pré-hospitalares e hospitalares, investigando de que forma essa integração pode ampliar a eficiência dos atendimentos. Especificamente, busca-se: (i) mapear o método atual de comunicação; (ii) planejar uma solução que otimize o fluxo comunicacional; e (iii) validar a viabilidade técnica e operacional da solução proposta.

A relevância acadêmica deste estudo evidencia-se pela ampliação do entendimento sobre os requisitos técnicos e organizacionais necessários para uma integração eficaz, suprimindo a lacuna de estudos aplicados sobre implementação em cenários reais (Francisco *et al.*, 2024, p. 8-9). No plano prático, a investigação pode contribuir para tornar as transferências de informação mais ágeis e assertivas, reduzir erros e atrasos e promover um atendimento mais seguro e humanizado (Francisco *et al.*, 2024, p. 10). Dessa forma, a pesquisa tem potencial para gerar recomendações concretas sobre implantação e escalabilidade em diferentes contextos hospitalares.

FUNDAMENTOS DA INTEGRAÇÃO EM SAÚDE DIGITAL E IMPLICAÇÕES TERRITORIAIS

A integração entre saúde e tecnologia representa uma agenda estratégica para modernizar fluxos de atenção, promover a continuidade assistencial e ampliar a capacidade de gestão e tomada de decisão em todos os níveis do sistema de saúde. Segundo o Ministério da Saúde, iniciativas como a Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) e o Programa Conecte SUS visam estruturar uma plataforma padronizada e interoperável de serviços e informações (Brasil, 2020, p. 19). Para que essa transformação produza benefícios concretos, a literatura enfatiza a necessidade de competências profissionais e de padrões de dados bem definidos (Mennitti *et al.*, 2024, p. 3), articulados a arranjos de governança, monitoramento e capacitação; sem esses elementos, a

digitalização tende a permanecer fragmentada e de efeito limitado (Costa; Camargos; Viana, 2025, p. 2 - 5).

Esse pano de fundo ganha contornos específicos quando se consideram condicionantes territoriais do acesso e da regulação. Na configuração espacial de Minas Gerais, as delimitações macro e microrregionais influenciam diretamente tempos de deslocamento, disponibilidade de leitos e possibilidades de transferência intermunicipal, tornando a regulação e a comunicação prévia entre unidades elementos centrais para a resolutividade do atendimento (Faria *et al.*, 2018, p. 96–113). Assim, as políticas nacionais de interoperabilidade e governança informacional só se materializam em ganhos assistenciais quando dialogam com as realidades regionais, ponto esse que conecta a agenda sistêmica (RNDS/Conecte SUS) aos desafios concretos da comunicação pré-hospitalar analisados a seguir.

COMUNICAÇÃO PRÉ-HOSPITALAR E HANDOVER: DO PROBLEMA INFORMACIONAL ÀS OPORTUNIDADES DE PADRONIZAÇÃO

A integração entre saúde e tecnologia representa uma agenda estratégica para modernizar fluxos de atenção, promover a continuidade assistencial e ampliar a capacidade de gestão e tomada de decisão em todos os níveis do sistema de saúde. Segundo o Ministério da Saúde, iniciativas como a Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) e o Programa Conecte SUS visam estruturar uma plataforma padronizada e interoperável de serviços e informações (Brasil, 2020, p. 19).

Para que essa transformação produza benefícios concretos, a literatura enfatiza a necessidade de competências profissionais e de padrões de dados bem definidos (Mennitti *et al.*, 2024, p. 3). Esses elementos precisam estar articulados a arranjos de governança, monitoramento e capacitação; sem eles, a digitalização tende a permanecer fragmentada e de efeito limitado (Costa; Camargos; Viana, 2025, p. 2-5).

No cerne da continuidade assistencial está o *handover*, que é o processo de transferência de responsabilidade e informação clínica entre a equipe pré-hospitalar e a recepção hospitalar. Souza *et al.* (2020, p. 6 - 7) mostram que a padronização desses processos tende a aumentar a completude e a previsibilidade das informações, reduzindo omissões que comprometem segurança e eficiência. No contexto avaliado, em que a comunicação é frequentemente limitada a um contato telefônico único e sem atualizações em trânsito, recomenda-se a adoção de protocolos padronizados

combinados a mecanismos de confirmação e treinamento contínuo, medida coerente com as análises de risco descritas por Miorin *et al.* (2020, p. 8 - 12).

Em contraste com a necessidade de padronização, a prática cotidiana revela fragmentação comunicacional: ligações, rádio, aplicativos de mensagens não oficiais e registros locais coexistem sem integração, comprometendo rastreabilidade e consistência dos dados. Entre profissionais do SAMU, Mendonça *et al.* (2022) identificaram ampla dependência de soluções informais que mitigam lacunas imediatas, mas introduzem riscos de perda de informação e de conformidade com normas de proteção de dados. A resposta a esse quadro não é apenas técnica: projetos de integração devem consolidar fluxos e oferecer alternativas institucionais de alta usabilidade que substituam gradualmente os usos informais, preservando a celeridade exigida no atendimento.

Como ponto de partida funcional, soluções simples e de alto impacto, como localização em tempo real e envio padronizado de sinais vitais, podem entregar valor imediato à recepção, reduzir a complexidade e o consumo de banda. Fluxos de telecomunicação bem definidos já demonstraram ganhos mensuráveis, como em redes de telemedicina para ECG com aumento de taxas de reperfusão em STEMI (Teixeira *et al.*, 2021), ilustrando que tecnologias relativamente simples, quando acopladas a protocolos claros, geram benefícios concretos. Ao mesmo tempo, esses ganhos dependem de conectividade mínima, protocolos estruturados e atenção à privacidade; sem tais condições, as tecnologias podem ampliar carga administrativa e frustração (Santos *et al.*, 2024, p. 63 - 67).

IMPLEMENTAÇÃO ORIENTADA A INTEROPERABILIDADE, USABILIDADE E AVALIAÇÃO EM CICLO CURTO

A consolidação dos fluxos pressupõe uma arquitetura de dados robusta, cobrindo interoperabilidade sintática e semântica, além de governança e políticas de integração. Coelho Neto e Chioro (2021, p. 2 - 3) evidenciam a fragmentação dos sistemas de informação em saúde no Brasil, elevando a exigência de compatibilidade técnica e de políticas de governança no desenho de soluções integradas. No caso em estudo, a diretora foi explícita: qualquer complemento deve coexistir com o SUS Fácil e não o substituir, implicando projetar interfaces compatíveis, estratégias de sincronização offline/online e mapeamento de campos clínicos; recomendações que também aparecem nas sínteses de Francisco *et al.* (2024, p. 6 - 8).

A dimensão humana é determinante para a incorporação efetiva no pré-hospitalar. Relatos locais destacam a preocupação com treinamento e com a necessidade de que a ferramenta não aumente a carga de trabalho do socorrista; por isso, interfaces concisas, fluxos reduzidos e opções pré-definidas são requisitos operacionais centrais. Avaliações de usabilidade brasileiras reportam escores moderados e a necessidade de refinamentos, e autores como Pereira *et al.* (2024) e Francisco *et al.* (2024) enfatizam que o alinhamento entre tecnologia e rotina clínica é condição para a normalização do uso.

Para reduzir riscos de desalinhamento entre produto e prática, ganham relevância abordagens de design participativo e validação incremental. No projeto desse artigo, a aplicação de princípios do *Running Lean* e a adaptação das entrevistas para iterações mais concisas permitiram validar hipóteses centrais e priorizar funcionalidades a partir do *feedback* da diretora e de um profissional do SAMU. A literatura corrobora que *codesign* e prototipagem iterativa favorecem a descoberta de requisitos reais, permitem refutação precoce de hipóteses e diminuem desperdícios no desenvolvimento (Pereira *et al.*, 2024; Francisco *et al.*, 2024).

Por fim, a avaliação de viabilidade e impacto deve combinar métricas processuais, clínicas e de implementação. O documento local já traz indicadores práticos, como a redução do uso de canais informais, tempo de preparo da equipe e satisfação dos usuários, que se alinham à recomendação de combinar análises quantitativas com qualitativas. Em linha com Magalhães *et al.* (2023, p. 21 - 23), conjuntos mistos de indicadores são essenciais para avaliar serviços pré-hospitalares. Considerando as oportunidades de estudos ponta-a-ponta e avaliações longitudinais em contextos reais, o estudo proposto se posiciona para testar a viabilidade técnica e organizacional de uma integração que articule tecnologia, governança e adaptação ao fluxo de trabalho.

METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste estudo, foi adotada uma abordagem de pesquisa qualitativa, materializada por meio de uma entrevista semiestruturada com pessoas de relevância para o assunto tratado. A escolha por este método, conforme aponta Severino (2007), justifica-se pela sua capacidade de aprofundar a compreensão do fenômeno investigado, ao mesmo tempo em que oferece a flexibilidade necessária para explorar questões emergentes durante a própria conversa.

Dessa forma, a participante selecionada foi a diretora administrativa de um centro de saúde que é referência regional em urgência e emergência. Sua escolha se deu por ser considerada uma interlocutora de alta relevância, dado seu profundo conhecimento sobre a logística, os procedimentos e os desafios envolvidos na recepção de pacientes encaminhados pelo atendimento pré-hospitalar.

Para a coleta de dados, foi elaborado um roteiro com perguntas abertas, fundamentado na revisão teórica, conforme tabela abaixo:

Tabela 1 – Roteiro de Perguntas

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Respeitando a natureza flexível do método utilizado, questões adicionais foram feitas para aprofundar pontos que surgiram ao longo do diálogo, as quais serão devidamente detalhadas na seção de resultados.

Com isso a entrevista ocorreu de forma remota no dia 11 de junho de 2025, com duração aproximada de 60 minutos. O diálogo foi transcrito e teve a participação voluntária validada pela assinatura da entrevistada, garantindo a confiabilidade das informações.

O material coletado foi submetido à Análise de Conteúdo, seguindo a metodologia proposta por Bardin (2011). Após a transcrição, realizou-se uma leitura aprofundada do material, da qual foram extraídas unidades de registro que, posteriormente, foram agrupadas em categorias temáticas. Esse processo permitiu consolidar uma visão clara sobre as práticas, lacunas e demandas de comunicação identificadas pela instituição. As inferências e conclusões apresentadas nas seções seguintes foram construídas a partir da interpretação desses dados, mantendo-se sempre a fidelidade ao depoimento da participante.

Portanto, o estudo se caracteriza como uma pesquisa exploratória, visto que seu propósito é ampliar a familiaridade com um tema ainda pouco consolidado na literatura científica: o uso de tecnologias digitais para otimizar a comunicação entre equipes pré-hospitalares e hospitalares. Como define Gil (2008), essa metodologia é ideal para aprofundar a compreensão de um problema, permitindo a formulação de novas hipóteses e a construção de perspectivas de análise inovadoras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção derivam da coleta de dados qualitativa, obtida por meio da entrevista com a diretora administrativa, conforme mencionado anteriormente, cuja perspectiva é essencial para o mapeamento dos fluxos e desafios. A avaliação dos dados seguiu o rigor dos princípios da análise de conteúdo temática, conforme proposto por Bardin (2011), permitindo a organização dos achados em categorias que espelham diretamente os objetivos da pesquisa: o diagnóstico do método de comunicação atual e suas lacunas, o planejamento de uma solução e a validação da viabilidade e dos requisitos de implementação tecnológica.

O método de comunicação atual entre as equipes de atendimento pré-hospitalar (APH) e a unidade hospitalar é predominantemente verbal e reativo. Durante a entrevista foi relatado que essa prática baseia-se em três canais principais: o contato telefônico, feito por um ramal exclusivo na emergência para garantir celeridade, o uso da plataforma de regulação SUS Fácil, desenvolvida pelo governo de Minas Gerais para facilitar a transferência de pacientes entre hospitais e utilização de aplicativos de mensagens não oficiais por parte dos socorristas nas ambulâncias. Contudo, a literatura indica que a comunicação verbal durante o transporte tende a carecer de padronização, precisão e detalhes, o que dificulta o preparo adequado das equipes receptoras (Zhang *et al.*, 2021).

Esse problema é corroborado pelos dados da entrevista, que revelam uma lacuna informacional crucial: não há atualização das informações durante o trânsito do paciente. Após o contato inicial, a equipe hospitalar permanece sem novos dados sobre a evolução clínica até a chegada física da ambulância. Essa prática é descrita como fragmentada e compromete a rastreabilidade e a consistência dos dados, conforme apontado por Coelho Neto e Chioro (2021).

Uma das dificuldades sistêmicas relatadas reside na subutilização ou falha no uso da plataforma governamental. Embora o protocolo formal exija o cadastro do paciente para transferências intermunicipais, a entrevistada relatou que a falha ou o preenchimento tardio das informações nessa plataforma é comum, sobretudo por equipes de municípios menores. Pacientes frequentemente chegam sem cadastro prévio, forçando o hospital a realizar o procedimento apenas na admissão, o que inevitavelmente gera atrasos. Esse cenário reflete o desafio sistêmico da fragmentação dos Sistemas de Informação em Saúde (SIS) no Brasil, resultando em redundância, retrabalho e inconsistências, atuando como uma barreira à continuidade do cuidado (Coelho Neto e Chioro, 2021; Costa, Camargos e Viana, 2025).

A consequência operacional direta dessa falta de conhecimento prévio e detalhado do caso é que o hospital não consegue planejar a alocação de recursos ou leitos. Essa limitação no planejamento aumenta o risco de eventos adversos, um problema frequentemente ligado a falhas de comunicação no processo de transferência de cuidado (Miorin *et al.*, 2020).

Em adição às questões operacionais, foi destacada uma consequência gerencial significativa: a ausência de métricas detalhadas sobre as etapas do atendimento pré-hospitalar. Essa carência impede a avaliação gerencial da qualidade e eficiência do serviço, um aspecto considerado fundamental pela literatura para a melhoria contínua (Magalhães *et al.*, 2023).

Neste contexto de ineficiência, a integração tecnológica é vista pela gestão hospitalar como uma solução com potencial para gerar benefícios significativos. O principal ganho assistencial identificado seria a otimização do tempo de tratamento, pois permitiria que a equipe hospitalar se preparasse antes da chegada do paciente, um fator crítico em situações nas quais o tempo impacta diretamente na gravidade do quadro clínico. Essa percepção está alinhada a estudos que demonstram o papel de aplicativos móveis e telemedicina na agilização da assistência (Pereira *et al.*, 2024; Teixeira *et al.*, 2021).

Do ponto de vista financeiro, a integração poderia reduzir despesas com internações agravadas pela demora no atendimento inicial. Adicionalmente, a capacidade de gerar métricas de atendimentos bem-sucedidos é vista como indispensável para fundamentar a negociação de maiores repasses financeiros junto aos municípios, alinhando o financiamento a indicadores de desempenho, em consonância com a Estratégia de Saúde Digital para o Brasil (Brasil, 2020).

Em termos de viabilidade de implementação, o hospital possui a autonomia necessária para adotar novas formas de comunicação. Entretanto, a gestão estabeleceu uma condição crucial de interoperabilidade: a solução tecnológica deve atuar de forma complementar e não substituir a plataforma oficial SUS Fácil. Essa exigência evidencia a importância da compatibilidade em um sistema como o SUS, onde as novas tecnologias precisam coexistir com os sistemas legados, um desafio já apontado por Coelho Neto e Chioro (2021).

CONCLUSÃO

Este estudo analisou a viabilidade da integração tecnológica entre o atendimento pré-hospitalar e a recepção hospitalar, buscando mapear o método atual de comunicação, planejar uma solução otimizada e validar sua viabilidade técnica e operacional.

O diagnóstico revelou comunicação fragmentada (verbal, aplicativos informais, SUS Fácil subutilizado), resultando em lacuna de informação em trânsito e ausência de métricas gerenciais. Contudo, a gestão validou o potencial da integração para otimizar o tempo de tratamento, priorizando funcionalidades como localização em tempo real e envio padronizado de sinais vitais.

Conclui-se que há uma ineficiência sistêmica na comunicação, cuja superação é desejada pela gestão hospitalar e as tecnologias necessárias já existem para aplicação, precisando apenas de estruturação e integração aos processos de atendimento. Ademais, a solução deve estar condicionada à interoperabilidade com sistemas oficiais, como o SUS Fácil.

Tais achados corroboram a literatura que associa falhas na comunicação verbal a riscos operacionais (Francisco *et al.*, 2024), confirmam que a exigência de compatibilidade se alinha aos desafios sistêmicos de fragmentação dos SIS (Sistemas de Informação em Saúde) no Brasil (Coelho Neto; Chioro, 2021) e demonstram que a carência de métricas detalhadas comprometem a avaliação gerencial da qualidade (Magalhães *et al.*, 2023).

A principal contribuição deste estudo reside em ampliar o entendimento sobre os procedimentos operacionais e possibilidades do uso da tecnologia para melhorar a eficácia dos atendimentos, na expectativa de que o material produzido, quando alinhado às futuras pesquisas, possa suprir a lacuna de estudos aplicados em cenários reais, conforme apontado por Francisco *et al.* (2024).

Como limitação, destaca-se que o uso da pesquisa qualitativa no contexto do objeto elaborado, optou-se por restringir a coleta de dados a uma única interlocutora, cuja perspectiva, apesar da alta relevância, não se pode fazer generalizada sem o devido aprofundamento.

Sugere-se que futuras investigações ampliem a amostra, explorando a percepção dos socorristas e gestores de outros municípios. Outra possibilidade sobrevém da realização de avaliações longitudinais para testar, em contextos reais, a efetividade técnica, organizacional e operacional da solução proposta.

REFERÊNCIAS

- BAI, E.; ZHANG, Z.; XU, Y.; ADELGAIS, K.; OZKAYNAK, M. Designing for Better Pre-hospital Communication: Participatory Design of a Telemedicine Application for Emergency Departments. *AMIA Annu Symp Proc*, 22 maio 2025. v. 2024, p. 152-161. Disponível em: Acesso em: 21 set. 2025.
- BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Estratégia de Saúde Digital para o Brasil 2020–2028*. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: Acesso em: 21 set. 2025.
- COELHO NETO, G. C.; CHIORO, A. Afinal, quantos Sistemas de Informação em Saúde de base nacional existem no Brasil? *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, e00182119, 2021. DOI:
- COSTA, Marcus Vinicius da Silva; CAMARGOS, Mirela Castro Santos; VIANA, Sônia Maria Nunes; MENDES, Ueliton Vieira de Souza. Avanços e desafios da interoperabilidade no Sistema Único de Saúde. *Journal of Health Informatics, Brasil*, v. 17, n. 1, p. 1112, 2025. DOI: 10.59681/2175-4411.v17.2025.1112. Disponível em: Acesso em: 4 out. 2025.
- FARIA, Erick de Oliveira; COSTA, Kercia Zimmerer Vieira Queiroz; ALVIM, Ana Marcia Moreira; DINIZ, Alexandre Magno Alves. A REGIONALIZAÇÃO DA SAÚDE NO ESTADO DE MINAS GERAIS E OS PARÂMETROS DO PLANO DIRETOR DE REGIONALIZAÇÃO DA SAÚDE INTERPRETADOS SOB A ÓTICA DA GEOGRAFIA. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Uberlândia, v. 14, n. 28, p. 96–113, 2018. DOI: Disponível em: Acesso em: 4 out. 2025.
- DA SILVA FRANCISCO, A. C.; LIMA DA SILVA, F. M.; DREHMER DE ALMEIDA CRUZ, E. Tecnologia e inovação na transmissão de informações entre atendimento pré-hospitalar e hospitalar: uma revisão integrativa. *Journal of Nursing and Health*, v. 14, n. 1, p. e1427000, 4 jul. 2024.
- GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- MAGALHÃES, L. G.; PIRAN, C. M. G.; LUDWIG, E. F. dos S. B.; ARONI, P.; HADDAD, M. do C. F. L. Indicadores de avaliação dos serviços de atendimento pré-hospitalar de urgência e emergência: Revisão integrativa. *Saúde Coletiva (Barueri)*, [S. l.], v. 13, n. 85, p. 12564–12575, 2023. DOI: 10.36489/saudecoletiva.2023v13i85p12564-12575. Disponível em: Acesso em: 4 out. 2025.
- MENDONÇA, Renata Rodrigues; SALVADOR, Drielly Lima Valle Folha; MATA, Trindade Cristina Furlan da; NAKASIMA, Pedro Augusto Masashiro; DERENZO, Neide; COVRE, Eduardo Rocha; COSTA, Maria Antonia Ramos. *TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO: VISÃO DOS PROFISSIONAIS DO ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA*. *Cogitare Enfermagem*, [S. l.], v. 27, 2022. DOI: 10.5380/ce.

v27i0.81985. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/cogitare/article/view/81985>. Acesso em: 4 out. 2025.

MENNITTI, Anna Luísa; ZORNOFF, Denise de Cássia Moreira; SALVADOR, Maria Elisabete; GASPAR, Juliano de Souza. Revisão de escopo sobre áreas temáticas em Saúde Digital. *Journal of Health Informatics, Brasil*, v. 16, n. Especial, 2024. DOI: 10.59681/2175-4411.v16.iEspecial.2024.1303. Disponível em: Acesso em: 4 out. 2025.

PEREIRA, Cristiane Borges; BARRA, Daniela Couto Carvalho; LANZONI, Gabriela Marcellino de Melo; BOELL, Julia Estela Willrich; SOUSA, Paulino Artur Ferreira de; SARDO, Pedro Miguel Garcez. Contribuições dos aplicativos móveis para o atendimento pré-hospitalar: revisão integrativa. *Acta Paul Enferm*, v. 37, eAPE00172, fev. 2024.

Santos S.A.; Goulardins J.B.; Paiva Filho I.M.; Dias C.M.C.C.; Matos M.A. Avaliação da usabilidade da telemedicina no atendimento pré-hospitalar fixo. *Brazilian Journal of Emergency Medicine* 2024; 4: 00-00.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

Souza MM, Xavier AC, Araújo CAR, Pereira ER, Duarte SCM, Broca PV. Communication between pre-hospital and intrahospital emergency medical services: literature review. *RevBrasEnferm*. 2020; 73(Suppl 6): e20190817. doi:

TEIXEIRA, Alessandra Batista; ZANCANER, Leonardo Fiaschi; RIBEIRO, Fernando Fonseca de França; PINTYÁ, José Paulo; SCHMIDT, André; MACIEL, Benedito Carlos; MARIN NETO, José Antônio; MIRANDA, Carlos Henrique. Otimização da Terapia de Reperusão no Infarto Agudo do Miocárdio com Supradesnível do Segmento ST por Meio de Telemedicina Baseada no WhatsApp®. *Arq. Bras. Cardiol.*, v. 118, n. 3, p. 556-564, jan. 2022.

ZHANG, Z.; SARCEVIC, A.; JOY, K.; OZKAYNAK, M.; ADELGais, K. User Needs and Challenges in Information Sharing between Pre-Hospital and Hospital Emergency Care Providers. *AMIA Annu Symp Proc*, 21 fev. 2022; p. 1254-1263. Disponível em: Acesso em: 04 out. 2025.

EXAMYA: REVOLUCIONANDO O DIAGNÓSTICO MÉDICO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Jeremias de Oliveira Nunes. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rios Faria de Oliveira

INTRODUÇÃO

O diagnóstico médico rápido e preciso é essencial para o sucesso terapêutico e a redução de complicações clínicas. No Brasil, apesar dos cerca de 500 mil médicos ativos (CFM, 2023), a distribuição desigual de profissionais e a crescente demanda por serviços de saúde geram sobrecarga, atrasos na análise de exames e ineficiências no sistema.

Nos ambientes hospitalares contemporâneos, a análise de exames exige múltiplas etapas, integrando modalidades diversas de imagem, resultados laboratoriais e informações clínicas, demandando correlação complexa entre dados heterogêneos (Jha; Topol, 2016). Associada à limitação de recursos humanos, essa realidade evidencia a urgência de ferramentas que otimizem fluxos de trabalho.

A Inteligência Artificial surge como uma solução promissora para os desafios diagnósticos na área da saúde, visto que algoritmos avançados de *Machine Learning* e *Deep Learning* têm demonstrado desempenho comparável ou superior ao de especialistas, alcançando alta precisão na classificação de câncer de pele (Esteva *et al.*, 2017) e na detecção precoce de câncer de mama em mamografias (Mckinney *et al.*, 2020). Revisões abrangentes confirmam esse potencial, destacando a capacidade da IA em transformar a prática clínica por meio da análise de imagens médicas (Litjens *et al.*, 2017; Topol, 2019).

Como um sistema de apoio ao diagnóstico médico baseado em inteligência artificial pode reduzir o tempo de análise e a correlação entre múltiplos exames, otimizando o fluxo de trabalho hospitalar e aprimorando a qualidade do diagnóstico?

Objetivo Geral: O objetivo central deste artigo é propor um sistema integrado de apoio médico que utiliza inteligência artificial para agilizar a análise de exames, diminuindo o tempo necessário para o diagnóstico e tornando os processos hospitalares mais eficientes. Para chegar a essa proposta, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática sobre o uso da IA na medicina diagnóstica, permitindo compreender os avanços já alcançados e as principais tendências da área.

Além disso, especialistas foram consultados para identificar lacunas e oportunidades que possam orientar o desenvolvimento de um sistema realmente útil na prática clínica. A partir dessas informações, foi elaborada uma arquitetura tecnológica escalável, fundamentada em ferramentas modernas, que dará suporte às funcionalidades e aos módulos de IA destinados a diferentes tipos de exames médicos. Por fim, foram definidas métricas de avaliação que servirão de base para validar o Examya no futuro, garantindo que sua aplicação seja eficaz e relevante no cotidiano dos profissionais de saúde.

O desenvolvimento do Examya se justifica pela convergência de três demandas críticas identificadas na literatura científica e confirmadas em entrevistas com especialistas:

EFICIÊNCIA OPERACIONAL

O aumento exponencial da demanda por exames médicos tem sobrecarregado fluxos de trabalho hospitalares. Estudos apontam que médicos e radiologistas dedicam entre 40% e 60% de sua jornada a atividades administrativas e de análise repetitiva, em detrimento do atendimento direto ao paciente (Topol, 2019; Yu, Beam, Kohane, 2018). A automação inteligente destes processos, por meio de sistemas de apoio à decisão, pode liberar tempo clínico e reduzir gargalos assistenciais.

QUALIDADE ASSISTENCIAL

Erros diagnósticos representam de 10% a 15% dos eventos adversos em hospitais (Schwalbe, Wahl, 2020; Vedana, 2024). Grande parte desses equívocos decorre da sobrecarga de profissionais e da complexidade crescente da correlação entre exames de diferentes modalidades. A utilização de algoritmos de *machine learning* e *deep learning* tem se mostrado eficaz para reduzir essas falhas, aumentando a precisão diagnóstica e garantindo maior segurança assistencial (Esteva *et al.*, 2017; McKinney *et al.*, 2020).

AVANÇO TECNOLÓGICO NA SAÚDE

A transformação digital em saúde é uma tendência global. Entretanto, o Brasil apresenta baixa taxa de adoção de tecnologias avançadas em comparação a países desenvolvidos, o que reforça a necessidade de soluções inovadoras adaptadas à realidade nacional (Waring *et al.*, 2020; Conselho Federal de Medicina, 2023). A aplicação prática da IA em ambientes hospitalares pode representar um movimento de *leapfrogging* tecnológico, permitindo que o país avance diretamente para estágios mais sofisticados de digitalização em saúde.

Dessa forma, o projeto Examyra surge como resposta a esses desafios, propondo um sistema integrado que alia eficiência, qualidade e inovação tecnológica, contribuindo para a modernização da medicina diagnóstica e para a melhoria dos cuidados em saúde.

IA NA MEDICINA: TRANSFORMANDO O FUTURO DOS DIAGNÓSTICOS

A Inteligência Artificial (IA) tem revolucionado a medicina diagnóstica, impactando áreas como radiologia, genômica e análise de dados clínicos (Vedana *et al.*, 2024). Essa transformação não é meramente incremental; ela representa uma mudança paradigmática na forma como diagnósticos são realizados e como os profissionais de saúde interagem com dados clínicos.

Segundo Topol (2019), a convergência entre inteligência humana e artificial caracteriza a medicina de alta performance, em que sistemas de IA não substituem médicos, mas potencializam suas capacidades diagnósticas. Evidências crescentes demonstram que a colaboração entre homem e máquina produz resultados superiores aos obtidos isoladamente por qualquer uma das abordagens (Topol, 2019; Yu, Beam, Kohane, 2018).

MACHINE LEARNING E DEEP LEARNING NA PRÁTICA MÉDICA

O *Machine Learning* (ML), um dos principais ramos da inteligência artificial, utiliza algoritmos capazes de “aprender” a partir de dados e realizar previsões sem a necessidade de programação explícita para cada tarefa (Lecun; Bengio; Hinton, 2015). Na medicina, essas técnicas têm demonstrado impactos significativos em diferentes áreas.

Na análise de imagens médicas, por exemplo, algoritmos de aprendizado supervisionado, especialmente redes neurais convolucionais (CNNs), são amplamente utilizados para identificar padrões em radiografias, tomografias, ressonâncias magnéticas e ultrassonografias. Esses sistemas conseguem detectar anomalias sutis que muitas vezes passam despercebidas ao olhar humano (Litjens *et al.*, 2017; Lundervold, Lundervold, 2019).

Além disso, o ML tem se mostrado útil na predição de desfechos clínicos. Sistemas inteligentes conseguem analisar grandes volumes de dados para prever deteriorações, como sepse ou insuficiência orgânica, possibilitando intervenções precoces que podem salvar vidas (Shickel *et al.*, 2018).

O *Machine Learning* também contribui para a otimização de tratamentos, analisando perfis genéticos tumorais e recomendando terapias personalizadas, alinhadas aos princípios da medicina de precisão (Yu; Beam; Kohane, 2018). Dessa forma, a tecnologia não apenas apoia decisões médicas, mas também torna os cuidados de saúde mais rápidos, seguros e individualizados.

SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO CLÍNICA (SADC)

Os Sistemas de Apoio à Decisão Clínica (SADC) são tecnologias desenvolvidas para auxiliar profissionais de saúde na tomada de decisões diagnósticas e terapêuticas. De acordo com Jha e Topol (2016), esses sistemas oferecem benefícios significativos, pois atuam como uma espécie de “segunda opinião” automatizada, reduzindo erros médicos ao identificar anomalias que poderiam passar despercebidas por profissionais sobrecarregados. Além disso, contribuem para a melhoria da qualidade assistencial ao padronizar processos de análise, diminuindo a variabilidade interpretativa e aumentando a confiabilidade dos diagnósticos. Outro aspecto relevante é a otimização de recursos hospitalares, já que agilizam a triagem e a interpretação de exames, especialmente em situações de emergência, o que possibilita uma melhor alocação de equipes e a redução dos custos operacionais.

APLICAÇÕES POR ESPECIALIDADE

A radiologia é uma das áreas pioneiras na adoção da inteligência artificial. Sistemas treinados em grandes bases de dados são capazes de identificar padrões de doenças com precisão

que, em muitos casos, supera a capacidade humana. Um exemplo marcante vem da *Google Health*, que demonstrou uma redução de 9,4% nos falsos negativos e de 5,7% nos falsos positivos na detecção de câncer de mama (Mckinney *et al.*, 2020). Na cardiologia, algoritmos baseados em *Deep Learning* já são utilizados para detectar disfunções cardíacas, doenças valvares e arritmias em exames como ecocardiogramas e eletrocardiogramas, alcançando alta precisão. A patologia também tem se beneficiado com a análise automatizada de biópsias, que contribui para maior acurácia e agilidade na identificação de células cancerígenas. Já na oftalmologia, sistemas voltados à detecção de retinopatia diabética atingem índices de acurácia próximos a 90%, oferecendo um suporte essencial, sobretudo em regiões com acesso restrito a especialistas (Gulshan *et al.*, 2016).

DESAFIOS E LIMITAÇÕES ATUAIS

Apesar dos avanços, a implementação da inteligência artificial na área da saúde ainda enfrenta desafios significativos. Um dos principais está relacionado à qualidade e à padronização dos dados, já que os algoritmos dependem de informações limpas e representativas, sendo que dados enviesados podem comprometer a confiabilidade dos resultados (Zhou *et al.*, 2017). Outro obstáculo é a interpretabilidade dos modelos, pois muitas soluções baseadas em *Deep Learning* funcionam como verdadeiras “caixas pretas”, dificultando a compreensão das decisões automatizadas (Lecun; Bengio; Hinton, 2015). Soma-se a isso a necessidade de integração com sistemas já existentes, o que demanda investimentos em infraestrutura, além de treinamento adequado para os profissionais da área. Por fim, a regulamentação e a aprovação clínica representam etapas indispensáveis para garantir a segurança do paciente, mas, ao mesmo tempo, envolvem processos complexos e demorados (Schwalbe; Wahl, 2020).

OPORTUNIDADES PARA SISTEMAS INTEGRADOS

Gargalos como a sobrecarga de dados, a variabilidade interpretativa e a fragmentação de sistemas especializados evidenciam a necessidade de soluções mais integradas. A literatura mostra que, embora existam avanços importantes, a maioria das soluções atuais é desenvolvida de forma isolada para cada especialidade, o que impede uma visão holística do paciente e limita a correlação entre exames de diferentes naturezas (Vedana *et al.*, 2024; Waring *et al.*, 2020). Nesse contexto,

abre-se um espaço de inovação que o Examya pretende ocupar ao propor uma plataforma integrada de suporte à decisão clínica baseada em inteligência artificial. O diferencial da proposta está justamente na capacidade de reunir e analisar, de forma unificada, informações provenientes de múltiplas modalidades diagnósticas. Essa abordagem não apenas otimiza o fluxo hospitalar e reduz o tempo para obtenção de diagnósticos, mas também possibilita correlações mais amplas e precisas entre diferentes exames, oferecendo uma perspectiva inédita em relação aos estudos anteriores e representando um avanço significativo rumo a uma medicina mais preditiva, personalizada e eficiente.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de natureza qualitativa e quantitativa, conforme definido por Gil (2019), permitindo tanto o embasamento em literatura especializada quanto a consulta a profissionais da área por meio de entrevistas estruturadas e semiestruturadas. A adoção dessa abordagem justifica-se pela necessidade de compreender um fenômeno complexo e multifacetado como a aplicação da inteligência artificial na medicina diagnóstica.

Metodologicamente, a investigação adota uma estratégia mista, que combina três etapas complementares. A primeira consiste em uma revisão bibliográfica sistemática, voltada a mapear o estado da arte sobre sistemas de IA aplicados à medicina diagnóstica, identificando tendências, lacunas e oportunidades. Em seguida, são realizadas entrevistas com especialistas, cujo objetivo é validar os achados da literatura e obter percepções práticas acerca das necessidades e dos desafios enfrentados pelos profissionais de saúde. Por fim, com base nas evidências coletadas e no feedback dos entrevistados, desenvolve-se uma proposta conceitual de arquitetura tecnológica inovadora.

A etapa de entrevistas foi realizada de forma semiestruturada, conduzidas por videoconferência, com duração média entre 45 e 60 minutos. O participante forneceu consentimento informado e a conversa seguiu um roteiro pré-definido com questões abertas, elaborado para favorecer tanto a comparabilidade quanto a liberdade de expressão do entrevistado.

INSIGHS DAS ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

A proposta do sistema Examya foi apresentada a um especialista da área médica, com vasta experiência em gestão hospitalar e no acompanhamento de processos clínicos multidisciplinares. Durante a apresentação, foram discutidos tanto os desafios identificados na literatura quanto as dificuldades observadas na prática hospitalar, assim como a concepção do sistema. Logo em seguida, uma entrevista semiestruturada foi conduzida para validar a ideia do projeto.

O especialista ressaltou a importância de contar com um suporte tecnológico capaz de ajudar os médicos a correlacionar múltiplos exames clínicos e reduzir o tempo de análise, permitindo que diagnósticos e planos de tratamento sejam definidos de maneira mais rápida e precisa. Ele observou que, com o auxílio do Examya, a integração e análise de diferentes exames se torna muito mais ágil, otimizando o fluxo de trabalho. Essa melhoria traz benefícios claros: decisões clínicas mais rápidas e confiáveis, maior capacidade de atendimento, permitindo que mais pacientes sejam assistidos em menos tempo, e suporte efetivo à tomada de decisão, reduzindo a sobrecarga e a fadiga dos profissionais de saúde.

Em resumo, a validação da proposta pelo especialista reforça a relevância do Examya como uma ferramenta integrada de apoio ao diagnóstico médico, com potencial de transformar não apenas a eficiência, mas também a qualidade do atendimento hospitalar.

CONCLUSÃO

O projeto Examya destaca o potencial transformador da Inteligência Artificial (IA) na medicina diagnóstica, evidenciando não apenas ganhos em eficiência operacional, mas também melhorias substanciais na qualidade do cuidado e na integração tecnológica do sistema de saúde. A partir da revisão bibliográfica e das entrevistas com especialistas, é possível concluir que:

A adoção de sistemas integrados de IA tem potencial para reduzir significativamente o tempo de análise de exames, conforme demonstrado em estudos de radiologia e dermatologia, otimizando fluxos de trabalho e liberando tempo para atendimento clínico direto. Esse ganho operacional está alinhado com evidências que indicam que médicos dedicam uma parte considerável de sua rotina a tarefas administrativas e interpretação de exames, o que reforça o papel da IA como ferramenta de apoio à prática clínica (Topol, 2019; Yu, Beam, Kohane, 2018). A

automação inteligente desses processos permite maior disponibilidade para o atendimento clínico direto, contribuindo para a redução de filas, otimização de recursos humanos e melhoria do acesso a cuidados médicos (Jha, Topol, 2016; Schwalbe, Wahl, 2020).

Os algoritmos de *Machine Learning* e *Deep Learning* demonstram capacidade superior na detecção de patologias em exames de imagem e dados clínicos (Esteva *et al.*, 2017; McKinney *et al.*, 2020; Litjens *et al.*, 2017). A integração desses modelos em plataformas como o Examya promove a padronização das análises, diminuindo a variabilidade interpretativa entre profissionais e reduzindo eventos adversos relacionados a erros diagnósticos, que representam até 15% dos casos em hospitais (Schwalbe, Wahl, 2020; Vedana *et al.*, 2024).

A fragmentação de sistemas de IA voltados para especialidades isoladas limita a capacidade de correlação entre diferentes exames e informações clínicas. O Examya propõe uma solução integrada, consolidando dados de múltiplas modalidades e especialidades, promovendo uma visão completa do paciente. Esta abordagem permite não apenas diagnósticos mais rápidos, mas também decisões terapêuticas mais assertivas, refletindo o conceito de medicina de alta performance baseada na convergência entre inteligência humana e artificial (Topol, 2019).

A implementação de sistemas avançados de IA, como o Examya, representa um passo estratégico para o *leapfrogging* tecnológico no contexto brasileiro, permitindo que o país avance em direção a práticas de saúde mais digitais, eficientes e baseadas em evidências (Waring *et al.*, 2020; Conselho Federal de Medicina, 2023). Além disso, a utilização de tecnologias modernas e escaláveis, como React e FastAPI, garante adaptabilidade e expansão futura do sistema para novas especialidades e funcionalidades.

O suporte tecnológico proporcionado pelo Examya diminui a sobrecarga cognitiva dos profissionais de saúde, reduzindo fadiga e estresse, fatores associados a erros clínicos (Shickel *et al.*, 2018). Paralelamente, o paciente se beneficia de diagnósticos mais rápidos, precisos e seguros, aumentando a satisfação, confiança e potencialmente melhorando os desfechos clínicos (Hamet, Tremblay, 2017; Yu *et al.*, 2018).

Em síntese, o Examya surge como uma solução inovadora que alia eficiência operacional, precisão diagnóstica e transformação digital, contribuindo para uma medicina mais segura, acessível e centrada no paciente. Estudos futuros devem focar na validação clínica em larga escala, mensuração de impacto econômico e expansão das capacidades de IA para novas áreas de

especialização médica, consolidando seu papel como ferramenta de apoio à decisão e inovação tecnológica em saúde.

REFERÊNCIAS

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA. Demografia Médica no Brasil 2023. Brasília: CFM, 2023.

ESTEVA, A.; KUPREL, B.; NOVOA, R. A.; *et al.* Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, v. 542, n. 7639, p. 115-118, 2017.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GULSHAN, V.; PENG, L.; CORAM, M.; *et al.* Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, v. 316, n. 22, p. 2402-2410, 2016.

HAMET, P.; TREMBLAY, J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, v. 69, p. S36-S40, 2017.

JHA, S.; TOPOL, E. J. Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *JAMA*, v. 316, n. 22, p. 2353-2354, 2016.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. *Nature*, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015.

LITJENS, G.; KOOI, T.; BEJNORDI, B. E.; *et al.* A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, v. 42, p. 60-88, 2017.

LUNDERVOLD, A. S.; LUNDERVOLD, A. An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, v. 29, n. 2, p. 102-127, 2019.

MCKINNEY, S. M.; SIENIEK, M.; GODBOLE, V.; *et al.* International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, v. 577, n. 7788, p. 89-94, 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Relatório de Gestão do SUS 2023. Brasília: MS, 2023.

RAJPURKAR, P.; IRVIN, J.; BALL, R. L.; *et al.* Deep learning for chest radiograph diagnosis: A retrospective comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists. *PLOS Medicine*, v. 15, n. 11, p. e1002686, 2018.

SCHWALBE, N.; WAHL, B. Artificial intelligence and the future of global health. *The Lancet*, v. 395, n. 10236, p. 1579-1586, 2020.

SHICKEL, B.; TIGHE, P. J.; BIHORAC, A.; RASHIDI, P. DEEP EHR: A survey of recent advances in deep learning techniques for electronic health record (EHR) analysis. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 22, n. 5, p. 1589-1604, 2018.

TOPOL, E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, v. 25, n. 1, p. 44-56, 2019.

VAN RIEL, S. J.; CIOMPI, F.; WINKLER WILLE, M. M.; *et al.* Malignancy risk estimation of screen-detected pulmonary nodules using deep learning. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 202, n. 3, p. 393-403, 2020.

VEDANA, A. B.; BENEVIDES, A. B.; FARAGE, A. P. C.; *et al.* Inteligência artificial na medicina diagnóstica. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 11, p. 765-794, 2024.

WARING, J.; LINDVALL, C.; UMETON, R. Automated machine learning: Review of the state-of-the-art and opportunities for healthcare. *Artificial Intelligence in Medicine*, v. 104, p. 101822, 2020.

YU, K. H.; BEAM, A. L.; KOHANE, I. S. Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, v. 2, n. 10, p. 719-731, 2018.

ZHOU, L.; PAN, S.; WANG, J.; *et al.* Machine learning on big data: Opportunities and challenges. *Neurocomputing*, v. 237, p. 350-361, 2017.

ENTRE FREUD E O CHATGPT: DESAFIOS DO VÍNCULO TERAPÊUTICO NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Bruno Daniel da Silva Almeida; Júlio Henrique Pereira Corrêa; Samuel Henrique Siqueira de Paiva. Orientador: Prof. Me. Flávio Belizário da Silva Mota

INTRODUÇÃO

Modelos de linguagem de grande porte (*LLMs*, na sigla em inglês) constituem uma vertente da Inteligência Artificial (IA) projetada para gerar e processar linguagem natural de maneira contextualizada. Esses modelos, treinados em grandes volumes de dados textuais, são capazes de produzir textos no estilo humano, responder a questões e executar tarefas linguísticas com elevada eficiência (Kasneci *et al.*, 2023). Desde o lançamento do *ChatGPT*, em novembro de 2022, é possível perceber o crescente uso e a popularização de tecnologias baseadas nesses modelos e a disseminação dessa tendência em áreas diversas.

No âmbito da saúde mental, essas tecnologias também se fazem presentes. Revisões recentes da literatura científica destacam que modelos de *LLM* vêm sendo aplicados com eficiência crescente em triagens precoces, investigações digitais e diagnósticos e monitoramento de sintomas, como a realizada por Jin *et al.* (2025), que identificou que 71% dos estudos analisados utilizam *LLMs* para detecção de transtornos mentais como depressão e ansiedade. Além disso, aponta também oportunidades relevantes para o suporte clínico e a educação sobre o tema. Especificamente no estudo do transtorno de ansiedade, evidências clínicas sugerem que intervenções baseadas em *chatbots* de Inteligência Artificial podem reduzir sintomas de transtorno de ansiedade generalizada (Heinz; Jacobson, 2025).

No entanto, apesar da crescente popularização do número de estudos que enfatizam possíveis benefícios na utilização de ferramentas de IA no tratamento psicológico, a perspectiva de profissionais sobre o impacto dessas ferramentas no processo terapêutico ainda é pouco abordada (Hipgrave *et al.*, 2025). Além disso, o ceticismo desses profissionais pode ser uma barreira para uma adoção mais abrangente dessas ferramentas na prática clínica. Uma pesquisa global sobre a posição de profissionais da saúde mental a respeito da inserção de IA no tratamento de doenças

psicológicas identificou que cerca de 40% dos participantes demonstraram incerteza sobre a possibilidade de os benefícios dessa inclusão superarem os riscos (Hipgrave *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, observa-se que a inserção de ferramentas de IA como mediadoras do processo terapêutico, ao substituir parcial ou totalmente o contato humano, ainda carece de insumos para avaliar seus impactos no tratamento psicológico. Surge então, a questão central: até que ponto essa substituição impacta a qualidade da relação entre terapeuta e paciente?

O presente estudo se propõe a investigar, a partir da perspectiva de um profissional especialista em psicologia clínica, em que medida a inserção de *chatbots* de Inteligência Artificial no processo terapêutico influencia no vínculo estabelecido entre o terapeuta e o paciente.

De forma específica, pretende-se: (i) compreender a percepção de um especialista em psicologia clínica sobre o uso de *chatbots* de Inteligência Artificial em tratamentos psicológicos; (ii) investigar os possíveis impactos da utilização de *chatbots* no estabelecimento e manutenção do vínculo terapêutico; (iii) explorar a opinião profissional sobre o equilíbrio entre tecnologia e contato humano na condução do processo terapêutico.

Dado o exposto, torna-se fundamental ampliar o conhecimento sobre como a inserção de ferramentas de IA no tratamento psicológico pode impactar o vínculo entre profissional e paciente, sobretudo diante da tendência crescente de sua disseminação na sociedade contemporânea

PRESENÇAS, INTERFACES E CONEXÃO: A RELEVÂNCIA DO VÍNCULO TERAPÊUTICO

Na psicologia clínica contemporânea, o vínculo terapêutico, também chamado de aliança terapêutica, é compreendido como um processo relacional de cooperação mútua entre paciente e terapeuta, reconhecido como fator central para a efetividade dos tratamentos (Sagui-Henson *et al.*, 2022). Mais do que um laço interpessoal, envolve dimensões emocionais, cognitivas e comportamentais que sustentam o engajamento no processo terapêutico. A definição original do conceito por Bordin (1979) define que a aliança se fortalece por meio do acordo sobre objetivos e tarefas e pelo desenvolvimento de um vínculo afetivo positivo, fundamentos ainda amplamente adotados nas pesquisas atuais, que indicam que alianças robustas potencializam os resultados clínicos (Alessi *et al.*, 2019).

Ademais, o vínculo terapêutico também pode ser influenciado pela forma como o paciente interpreta as atitudes, posicionamentos e práticas adotadas pelo terapeuta. Uma pesquisa realizada com indivíduos LGBTQ evidenciou que práticas afirmativas, compreendidas como atitudes de validação e reconhecimento das identidades dos clientes, estão significativamente associadas ao bem-estar psicológico desses indivíduos (Alessi *et al.*, 2019). Os resultados indicaram que a relação terapêutica atua como mediadora entre a avaliação do cliente acerca das práticas afirmativas do terapeuta e os níveis de bem-estar, de modo que percepções mais positivas tendem a favorecer o fortalecimento da aliança terapêutica e, conseqüentemente, potencializar os benefícios clínicos do processo psicoterapêutico.

Com a popularização das teleconsultas, surgem reflexões sobre a construção da aliança terapêutica em contextos presenciais e virtuais. Revisões sistemáticas indicam que elementos como colaboração, empatia e confiança tendem a ser preservados on-line; contudo, sinais não verbais e interações táteis do atendimento presencial apresentam características singulares, não totalmente replicáveis digitalmente (Saxler *et al.*, 2024). De forma semelhante, comparações entre modalidades mostram qualidade da aliança terapêutica geralmente equivalente, embora a ausência do contato físico possa afetar expressividade corporal e os efeitos reguladores do toque, fatores relevantes para a experiência do paciente e o fortalecimento do vínculo (Eichenberg; Blokus; Malberg, 2022).

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA SAÚDE MENTAL: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS ÉTICAS

Com o crescente processo de digitalização dos ambientes clínicos e terapêuticos, a incorporação da inteligência artificial nos cuidados em saúde mental vem adquirindo relevância crescente, atuando no diagnóstico e monitoramento de avanços em tratamentos de doenças psicológicas além da personalização terapêutica (Cruz-Gonzalez *et al.*, 2025). Uma revisão sistemática que agregou 85 estudos ressaltou que métodos como *support vector machines*, *random forests* e algoritmos de *machine learning* têm demonstrado precisão na detecção, classificação e predição de riscos em saúde mental, bem como na estimativa de resposta ao tratamento e no acompanhamento prognóstico (Cruz-Gonzalez *et al.*, 2025).

A incorporação de técnicas de inteligência artificial ao monitoramento de respostas terapêuticas em saúde mental tem possibilitado avanços expressivos, principalmente envolvendo depressão (Cruz-Gonzalez *et al.*,2025). Diversos estudos têm explorado algoritmos de *machine learning* para estimar a eficácia de intervenções psicológicas e farmacológicas (Cruz-Gonzalez *et al.*,2025). Além disso, existem evidências a respeito de uma resposta mais satisfatória ao tratamento por parte do paciente quando ele é executado com a incorporação de ferramentas de IA em relação ao processo realizado exclusivamente com terapia convencional (Cruz-Gonzalez *et al.*,2025).

Arnout e Alshehri (2025) investigaram o impacto da utilização de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) na aliança terapêutica, analisando respostas de 382 profissionais de saúde mental. Apesar das preocupações éticas e clínicas levantadas por psicoterapeutas quanto à capacidade dessas tecnologias, como os *chatbots* terapêuticos, de lidar com demandas emocionais complexas, de impactar negativamente o vínculo terapêutico e de evitar a desumanização do cuidado, os resultados revelaram um efeito direto, positivo e estatisticamente significativo entre o uso de IA e o fortalecimento da aliança terapêutica. Segundo os autores, o emprego dessas ferramentas, seja de forma autônoma ou integrado a sessões supervisionadas, pode facilitar a superação de barreiras à construção do vínculo, ampliando a disponibilidade, reduzindo constrangimentos e favorecendo a comunicação aberta, com potencial para fortalecer dimensões centrais da aliança terapêutica, como confiança, colaboração e engajamento do paciente no processo clínico.

Os aplicativos móveis também podem ser um canal eficiente para introdução de IA com intuito de intervenções terapêuticas. Modolo, Carvalho e Dias (2023) exploram a eficácia do aplicativo *Better Stop Suicide*, criado por psicólogos e especialistas em saúde mental, com o objetivo de auxiliar usuários em momentos de crise ou com ideação suicida. O aplicativo utiliza o conceito de intervenções digitais autoguiadas, que possuem o intuito de produzir um resultado positivo sem a necessidade de uma intervenção profissional humana.

Esse conjunto crescente de evidências sugere que a IA tem potencial para atuar como catalisadora de avanços significativos na saúde mental, desde o diagnóstico mais preciso e o monitoramento contínuo até intervenções digitais personalizadas e suporte sustentável em longo prazo. No entanto, fatores como heterogeneidade metodológica, qualidade moderada das

evidências, falta de follow-up prolongado, além de limitações técnicas, éticas e de interpretação, permanecem como barreiras importantes à ampla adoção clínica (Cruz-Gonzalez *et al.*, 2025).

A partir desse panorama sobre as possibilidades de inserção de ferramentas de IA no tratamento clínico psicológico, é válido explorar com mais atenção uma das possibilidades mais recorrentes nas revisões sistemáticas sobre o tema: a utilização de *chatbots* conversacionais que operam com modelos de *LLM*. A literatura científica mais recente evidência que estes agentes baseados em inteligência artificial, especialmente *chatbots* fundamentados em terapia cognitivo-comportamental (CBT), têm demonstrado eficácia significativa no suporte à saúde mental. Uma revisão sistemática e meta-análise que incluiu 15 ensaios clínicos randomizados concluiu que esses agentes promovem reduções estatisticamente relevantes nos sintomas de depressão (Hedge's $g = 0,64$; IC 95 % 0,17–1,12) e angústia (Hedge's $g = 0,70$; IC 95 % 0,18–1,22), com efeitos mais pronunciados em modelos multimodais e integrados a aplicativos móveis ou plataformas de mensagens instantâneas (Li *et al.*, 2023). Em ensaio clínico randomizado com duração de duas semanas, o *chatbot Woebot* demonstrou superioridade na redução de sintomas de ansiedade e depressão em comparação a materiais de autoajuda da Organização Mundial da Saúde, com relatos de estabelecimento de vínculo terapêutico inicial similar ao observado em sessões de CBT em grupo (Fitzpatrick; Darcy; Vierhile, 2017).

(Li *et al.*, 2023). Em síntese, o corpus atual aponta para o potencial da IA aplicada à saúde mental na democratização do acesso à CBT e ao suporte emocional automatizado, especialmente em regiões com escassez de recursos. Contudo, seu uso clínico requer avaliação crítica, integração consciente com a prática clínica, e salvaguardas éticas para preservar a qualidade da aliança terapêutica e garantir a segurança do usuário.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória de natureza qualitativa, uma vez que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema em estudo, além de possibilitar o aprofundamento da compreensão acerca do fenômeno investigado. De acordo com Gil (2002), a pesquisa exploratória “tem como propósito desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. Assim, não se trata de verificar hipóteses previamente formuladas, mas

de explorar o objeto de estudo em sua complexidade, favorecendo a construção de interpretações e reflexões.

Para coleta de dados, optou-se pela modalidade de entrevista semiestruturada com especialista. Segundo Silva *et al.* (2006), a entrevista é um instrumento privilegiado por permitir a compreensão detalhada das crenças, valores e percepções dos entrevistados, indo além da simples obtenção de respostas objetivas. A escolha pela modalidade semiestruturada justifica-se pelo fato de que, nesse tipo de entrevista, há um equilíbrio entre questões previamente elaboradas e a liberdade para a exploração de aspectos emergentes, o que confere maior flexibilidade e profundidade ao processo investigativo (Triviños, 1987).

O estudo contou com a participação de uma especialista em prática clínica, selecionada pela formação acadêmica e experiência profissional compatível com a área de investigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A percepção da especialista revela ambivalência quanto ao uso da inteligência artificial na terapia, marcada por tensão entre o reconhecimento de suas possíveis utilidades e um ceticismo quanto à aplicação direta nas sessões. Essa dualidade aparece em três dimensões: preocupações éticas e técnicas, valorização do contato humano como base da aliança terapêutica e abertura limitada para usos auxiliares.

A especialista demonstrou resistência significativa à adoção de IA na interação direta com pacientes. Essa apreensão é acompanhada por um receio ético de expor os pacientes a um ambiente de experimentação, especialmente aqueles em situação de vulnerabilidade emocional. Embora o corpo de evidências crescente na literatura sugira que a Inteligência Artificial possui o potencial de atuar como catalisadora de avanços significativos na saúde mental, abrangendo desde o diagnóstico mais preciso e o monitoramento contínuo até intervenções digitais personalizadas e suporte sustentável em longo prazo, a perspectiva da especialista demonstrou um ceticismo substancial quanto à sua ampla adoção clínica.

Questionada sobre a origem de sua resistência em incluir a IA na prática clínica, ela confirmou que a ausência de evidências eficazes é o fator determinante, uma vez que, para ela, não há conhecimento sobre o impacto real dessas ferramentas, tornando o processo de adoção similar à transformação dos pacientes em cobaias humanas. Tal posicionamento encontra respaldo em

estudos recentes, como a pesquisa global de Hipgrave *et al.* (2025), que identificou que aproximadamente 40% dos profissionais de saúde mental expressam incerteza sobre se os benefícios da IA superam seus riscos.

Essa posição também encontra ressonância nas preocupações levantadas por Cruz-González *et al.* (2025), que destacam a fragilidade metodológica presente nas tentativas de incorporar ferramentas de inteligência artificial ao processo terapêutico. Os autores argumentam que, apesar do crescente interesse em aplicações de IA na saúde mental, muitos estudos carecem de desenho experimental robusto, apresentam amostras limitadas e utilizam métricas pouco padronizadas para avaliar a efetividade clínica. Além disso, enfatizam a insuficiência de evidências de longo prazo sobre segurança, impacto no vínculo paciente–terapeuta e resultados terapêuticos sustentáveis. Ao alinhar-se a essas críticas, a especialista reforça a ideia de que a adoção precipitada de tais tecnologias, sem a devida validação científica, pode comprometer tanto a qualidade do atendimento quanto a confiança essencial à relação terapêutica.

Apesar disso, a especialista reconheceu a viabilidade de aplicações indiretas da IA em contextos específicos, delineando usos considerados aceitáveis. Entre eles, destacam-se atividades de pesquisa clínica, desenvolvimento de materiais psicoeducativos e suporte ao raciocínio clínico na elaboração de planos de tratamento. Além da possibilidade de incorporar aplicações que atuem especificamente em casos de crise, quando o suporte humano e profissional não está disponível. Em síntese, a especialista atribui valor significativamente maior à utilização de ferramentas de inteligência artificial como suporte às atividades do profissional fora do contexto clínico, em comparação com a possibilidade de integrar essas tecnologias diretamente ao processo terapêutico com o paciente.

A especialista manifesta uma posição favorável e restritiva à utilização de ferramentas de Inteligência Artificial para a realização de triagens. Destaca-se que tais ferramentas devem se restringir estritamente à coleta de informações iniciais e objetivas, funcionando como um questionário estruturado para o registro de sintomas e a verificação de histórico. No entanto, a inferência clínica, a criação de perguntas subsequentes ou o desenvolvimento da demanda terapêutica não devem ser abrangidos por esse processo. No primeiro contato, a expertise humana permanece essencial para a compreensão de nuances emocionais, expressões implícitas e sinais de risco.

A crítica à delegação do estabelecimento da demanda clínica à IA é fundamentada na premissa de que o raciocínio clínico envolve julgamento, empatia e análise contextual. Embora a literatura sobre intervenções digitais autoguiadas reconheça que tais ferramentas podem acelerar o acesso e ampliar o alcance de serviços, a especialista considera que, nos casos iniciais, a substituição da intervenção humana para a elaboração diagnóstica configura uma limitação intransponível.

No que concerne ao suporte em situações de crise ou urgência, reconhece-se o valor prático de ferramentas digitais especializadas que operam fora do horário de atendimento humano, desde que sejam confiáveis, constantemente monitoradas e integradas a protocolos de emergência. A especialista considera a ideia de um aplicativo como o Better Stop Suicide, explorado na literatura como uma intervenção digital autoguiada para auxílio em momentos de ideação suicida (Modolo, Carvalho, Dias, 2023), como potencialmente positiva. A utilidade se justifica pela sua aplicação em momentos de inaccessibilidade do profissional e pela expectativa de que a IA possa oferecer maior precisão nas respostas em comparação a atendimentos de urgência que não utilizam o treinamento profissional. Assim, modelos de intervenção digital demonstram potencial para democratizar o acesso ao suporte emocional imediato, especialmente para indivíduos desassistidos, contanto que existam mecanismos claros de supervisão da fonte e escalonamento.

No que se refere especificamente ao vínculo terapêutico, a especialista não identificou elementos que indiquem que a introdução da inteligência artificial no processo possa fortalecê-lo. Ao contrário, segundo sua análise, a tendência é de enfraquecimento desse vínculo. Uma das razões apontadas é a possibilidade de que o uso dessas tecnologias pelo paciente o leve a questionar as intervenções do terapeuta com base nas respostas fornecidas pela IA. Em outras palavras, o paciente poderia considerar a IA uma fonte confiável e uma referência segura para validar ou contestar as orientações do profissional, colocando em dúvida a autoridade e a credibilidade do terapeuta. Esse risco se articula diretamente com a concepção de aliança terapêutica proposta por Bordin (1979), que compreende três componentes fundamentais: vínculo, concordância quanto às tarefas e acordo sobre os objetivos do tratamento. O questionamento constante das intervenções do terapeuta compromete especialmente a concordância em relação às tarefas e o alinhamento dos objetivos, elementos centrais para a construção de uma relação de colaboração. A especialista ressalta que essa interferência pode causar frustração e impactar negativamente o vínculo. Assim,

o enfraquecimento do vínculo não apenas fragiliza a confiança mútua, mas também reduz a eficácia global do processo terapêutico, sendo o abandono do tratamento o prejuízo principal.

De forma notável, esses achados qualitativos parecem contradizer os resultados quantitativos de Arnout e Alshehri (2025), que indicaram um efeito positivo e significativo do uso da IA no fortalecimento da aliança terapêutica. Enquanto o estudo sugere que a tecnologia pode facilitar a comunicação, ampliar a disponibilidade e favorecer a colaboração, a percepção da especialista evidencia que, na prática clínica, a introdução da IA pode gerar desafios à autoridade do terapeuta e ao engajamento do paciente. Assim, embora ambos os relatos abordem a relação entre IA e vínculo terapêutico, eles evidenciam diferentes dimensões do fenômeno: um aponta para oportunidades de fortalecimento do vínculo, enquanto o outro alerta para riscos potenciais de enfraquecimento, reforçando a necessidade de cautela e de estratégias de integração cuidadosas.

Adicionalmente, a análise da especialista evidencia que a percepção de sigilo absoluto é o principal elemento que sustenta o uso de *chatbots* em contextos de vulnerabilidade emocional. Segundo ela, o sigilo constitui o principal fator de atratividade para a busca dessas ferramentas, levando o indivíduo, a se sentir mais confortável em fornecer informações à Inteligência Artificial do que ao profissional clínico. Esse mecanismo abre a possibilidade de omissão de dados relevantes ao terapeuta humano, visto que a natureza da interação digital permite ao paciente interromper o diálogo em momentos de desconforto. Tal comportamento representa um obstáculo à dinâmica terapêutica.

Do ponto de vista da intervenção, o paciente pode manifestar maior satisfação com o suporte digital, pois este tende a oferecer uma forma de reforço de comportamentos que resultam em alívio imediato ou evitação do sofrimento. A intervenção digital, ao buscar o conforto, contrasta com o processo terapêutico humano, cujo escopo frequentemente envolve a exposição e o confronto com os desejos e as fontes de desconforto, etapas centrais para a elaboração psíquica e a transformação subjetiva.

Nesse contexto, o alívio fornecido pela IA é caracterizado como momentâneo, sem um compromisso efetivo com a mudança sustentável ou com a adoção de novas estratégias no cotidiano. Essa limitação, descrita por ela como uma mera tentativa de "apagar incêndio", gera o risco de que a satisfação com a intervenção robótica culmine em frustração no contato com a clínica humana, caso o paciente perceba que o agente digital supre melhor suas expectativas do que o profissional. Consequentemente, a busca por essa via de alívio mais cômoda e imediata, que não

exige o engajamento com a exposição do desconforto inerente ao trabalho clínico, pode desfavorecer o vínculo terapêutico e causar também o abandono do processo por parte do paciente.

Ademais, a especialista demonstra ceticismo quanto à possibilidade de um modelo de inteligência artificial ser consistentemente eficaz no contexto terapêutico, uma vez que não contempla as subjetividades humanas e a singularidade de cada caso clínico. Ela enfatiza que cada paciente apresenta necessidades e particularidades próprias, o que torna improvável que uma IA seja capaz de abarcar toda a diversidade de situações encontradas na prática clínica. A especialista reforça, ainda, o conceito estabelecido por Beck (2013), segundo o qual a constituição de um vínculo terapêutico sólido é condição indispensável para a eficácia do processo de modo que a aplicação de técnicas, por si só, não produz resultados significativos sem essa base relacional. Para ela, a mera aplicação de técnicas não assegura resultados satisfatórios, e é improvável que uma inteligência artificial consiga emular de forma autêntica sentimentos de empatia, cordialidade e escuta ativa, elementos essenciais para a formação e a manutenção desse vínculo.

CONCLUSÃO

Este estudo investigou, a partir da perspectiva de uma especialista em psicologia clínica, de que modo a inserção de *chatbots* de Inteligência Artificial pode influenciar o vínculo estabelecido entre terapeuta e paciente. A questão central buscou compreender se a substituição parcial ou total do contato humano por ferramentas de IA impacta a qualidade dessa relação, considerada essencial à efetividade do processo terapêutico.

Os resultados evidenciaram uma postura ambivalente por parte da especialista, que reconhece potenciais utilidades da IA no campo da saúde mental, especialmente em atividades de triagem, pesquisa e suporte clínico indireto, mas manifesta forte resistência quanto à sua aplicação direta nas sessões terapêuticas. As preocupações éticas, a ausência de evidências robustas sobre eficácia e segurança, e o temor de enfraquecimento da aliança terapêutica emergem como elementos centrais dessa resistência. Constatou-se que, na visão da especialista, o vínculo terapêutico tende a ser prejudicado pela introdução de mediadores tecnológicos, sobretudo pela possibilidade pela ameaça à autoridade simbólica do terapeuta.

A análise crítica dos autores indica que, embora a IA ofereça potencial para ampliar o acesso e o suporte em saúde mental, seu uso no contexto clínico requer prudência e validação empírica

consistente. O vínculo terapêutico, alicerçado em empatia, confiança e escuta ativa, constitui um fenômeno essencialmente humano que ainda não pode ser reproduzido por sistemas automatizados. Dessa forma, a integração de tecnologias de IA ao campo clínico deve ser vista como complementar, e não substitutiva, ao trabalho do terapeuta.

Os achados dialogam parcialmente com a literatura contemporânea, corroborando estudos como os de Hipgrave *et al.* (2025) e Cruz-González *et al.* (2025), que apontam a escassez de evidências sólidas sobre a segurança e a efetividade clínica da IA em contextos terapêuticos. Também reforçam a perspectiva de Bordin (1979) e Beck (2013) de que a aliança terapêutica constitui elemento estruturante e insubstituível da prática clínica. Entretanto, esses achados qualitativos parecem entrar em tensão com os resultados quantitativos de Arnout e Alshehri (2025), que indicaram um efeito positivo e estatisticamente significativo da IA no fortalecimento da aliança terapêutica. Enquanto o estudo sugere que a tecnologia pode ampliar a disponibilidade, facilitar a comunicação e favorecer a colaboração, a percepção da especialista evidencia que, na prática clínica, a introdução da IA pode gerar desafios à autoridade do terapeuta e ao engajamento do paciente. Essa aparente contradição evidencia que o impacto da IA sobre o vínculo terapêutico é multifacetado e depende de fatores contextuais, como a forma de integração da tecnologia, a supervisão profissional e as características do paciente.

Como limitação, destaca-se o fato de a pesquisa ter sido conduzida com uma única participante, o que restringe a generalização dos resultados. Pesquisas futuras podem ampliar o escopo da investigação, incluindo terapeutas de diferentes abordagens, bem como pacientes, a fim de compreender de modo mais abrangente as implicações da IA sobre o vínculo terapêutico. Além disso, recomenda-se explorar empiricamente estratégias de integração ética e segura dessas tecnologias, buscando um equilíbrio entre inovação e preservação da dimensão humana da clínica.

REFERÊNCIAS

ALESSI, E. J.; DILLON, F. R.; VAN DER HORN, R. The therapeutic relationship mediates the association between affirmative practice and psychological well-being among lesbian, gay, bisexual, and queer clients. *Psychotherapy*, v. 56, n. 2, p. 229-240, jun. 2019. DOI: 10.1037/pst0000210.

ARNOUT, B. A.; ALSHEHRI, S. M. Causal relationships between the use of AI, therapeutic alliance, and job engagement among psychological service practitioners. *Behavioral Sciences (Basel)*, v. 15, n. 1, art. 29, dez. 2024. DOI: 10.3390/bs15010021.

BECK, A. T. The evolution of the cognitive model of depression and its neurobiological correlates. *Am J Psychiatry*, Arlington, v. 165, n. 8, p. 969-977, Aug. 2008.

BORDIN, E. S. The generalizability of the psychoanalytic concept of the working alliance. *Psychotherapy: Theory, Research & Practice*, v. 16, n. 3, p. 252-260, 1979. DOI:10.1037/h0085885.

CHAN, J. N.-M.; SAHNI, Y.; VINAS GUASCH, N.; MILLER, T.; LAU, B. W.-M.; SÁNCHEZ VIDAÑA, D. I. Artificial Intelligence in Mental Health Care: A Systematic Review of Diagnosis, Monitoring, and Intervention Applications. *Psychological Medicine*, v. 55, 2025, e18. DOI: 10.1017/S0033291724003295.

CRUZ-GONZÁLEZ, P.; HE, A. W.-J.; LAM, E. P.; NG, I. M. C.; LI, M. W.; HOU, R.; CHAN, J. N.-M.; SAHNI, Y.; VINAS GUASCH, N.; MILLER, T.; LAU, B. W.-M.; SÁNCHEZ VIDAÑA, D. I. Artificial intelligence in mental health care: a systematic review of diagnosis, monitoring, and intervention applications. *Psychological Medicine*, v. 55, e18, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033291724003295>.

EICHENBERG, C.; ARANYI, G.; RACH, P.; WINTER, L. Therapeutic alliance in psychotherapy across online and face-to-face settings: a quantitative analysis. *Internet Interventions*, v. 29, set. 2022. DOI: 10.1016/j.invent.2022.100556.

FITZPATRICK, K. K.; DARCY, A.; VIERHILE, M. Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): A randomized controlled trial. *JMIR Mental Health*, v. 4, n. 2, e19, 2017. DOI: 10.2196/mental.7785.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

HEINZ, M. V.; JACOBSON, N. C. Randomized Trial of a Generative AI Chatbot for Mental Health With 2,000 Participants. *NEJM AI*, 2025. DOI: 10.1056/AIoa2400802.

HIPGRAVE, L.; GOLDIE, J.; DENNIS, S.; COLEMAN, A. Balancing risks and benefits: Clinicians' perspectives on the use of generative AI chatbots in mental healthcare. *Frontiers in Digital Health*, v. 7, 29 maio 2025. DOI: 10.3389/fdgth.2025.1606291.

JIN, Y. *et al.* The Applications of Large Language Models in Mental Health: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, v. 27, maio 2025. DOI: 10.2196/55625.

KASNECI, E. *et al.* ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, v. 103, 2023, p. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

Lau, C. K. Y.; Saad, A.; Camara, B.; Rahman, D.; Bolea-Alamanac, B. Acceptability of Digital Mental Health Interventions for Depression and Anxiety: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, v. 26, 2024; e52609. DOI: 10.2196/52609.

LI, H.; ZHANG, R.; LEE, Y.-C.; KRAUT, R. E.; MOHR, D. C. Systematic review and meta-analysis of AI-based conversational agents for promoting mental health and well-being. *npj Digital Medicine*, v. 6, art. 236, 2023. DOI: 10.1038/s41746-023-00979-5.

MODOLO, L.; CARVALHO, S.; DIAS, T. Questões da saúde digital para o SUS: a “saúde móvel” e a automação algorítmica do saber-poder da medicina. *Saúde e Sociedade*, v. 32, n. 3, e220245pt, 2023. DOI: 10.1590/S0104-12902023220245pt.

SAGUI-HENSON, S. J. *et al.* Understanding Components of Therapeutic Alliance and Well-Being from Use of a Global Digital Mental Health Benefit During the COVID-19 Pandemic: Longitudinal Observational Study. *Journal of Technology in Behavioral Science*, v. 7, n. 4, p. 439-450, 2022. DOI: 10.1007/s41347-022-00263-5.

SAXLER, E.; SCHINDLER, T.; PHILIPSEN, A.; SCHULZE, M.; LUX, S. Therapeutic alliance in individual adult psychotherapy: a systematic review of conceptualizations and measures for face-to-face- and online-psychotherapy. *Frontiers in Psychology*, v. 15, 27 jun. 2024. DOI: 10.3389/fpsyg.2024.1293851.

SIDDALS, S.; TOROUS, J.; COXON, A. “It happened to be the perfect thing”: experiences of generative AI chatbots for mental health. *npj Mental Health Research*, v. 3, art. 48, 2024. DOI: 10.1038/s44184-024-00097-4.

SILVA, L. F.; RUSSO, R. F. S. M. Aplicação de entrevistas em pesquisa qualitativa. *Revista de Gestão e Projetos*, v. 10, n. 1, p. 1-4, jan./abr. 2019.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

SEÇÃO II - SMART CITY

A CIDADE INTELIGENTE COMO PARADIGMA DE INOVAÇÃO

André Luiz Martins de Oliveira

O crescimento urbano acelerado no século XXI impôs desafios complexos que exigem uma profunda reestruturação da gestão das cidades, tornando o conceito de Cidade Inteligente (*Smart City*) o principal paradigma para o desenvolvimento sustentável. Uma Cidade Inteligente transcende a mera adoção de tecnologia; ela representa um modelo de governança urbana que utiliza intensivamente a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), a Internet das Coisas (*IoT*) e a Inteligência Artificial (IA) para otimizar serviços essenciais, aumentar a eficiência operacional e, sobretudo, elevar a qualidade de vida dos cidadãos.

A mobilidade urbana, um dos pilares de qualquer metrópole funcional, é abordada em dois dos artigos que compõem esta seção, demonstrando como as inovações em tecnologias podem aliviar o estresse e os custos gerados pelo trânsito. O estudo sobre Semáforos Inteligentes no Brasil explora o potencial da IA e de algoritmos adaptativos para otimizar o fluxo de tráfego, reduzir o tempo de percurso e, conseqüentemente, diminuir as emissões de carbono, propondo um sistema que equilibra a eficiência com as necessidades infraestruturais e comportamentais do contexto brasileiro.

Complementando a visão sobre a funcionalidade urbana, o terceiro artigo, intitulado Desenvolvimento e Arquitetura do *EcoSystem*, volta-se para a urgência da sustentabilidade e da economia circular, focando na crítica gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Os autores reconhecem que a baixa taxa de reciclagem é frequentemente resultado de uma assimetria de informação e da desconexão entre geradores, coletores e o destino dos resíduos.

Os trabalhos reunidos nesta seção refletem o papel central que a tecnologia desempenha na construção de cidades mais inteligentes e resilientes. Cada artigo, em sua especificidade, seja na otimização do tráfego veicular, nas informações precisas sobre o transporte público, ou na criação de um ecossistema digital para a gestão de resíduos. A perspectiva adotada é pragmática e propositiva, indo além da teoria para apresentar arquiteturas de *software* e soluções que podem ser implementadas no contexto nacional.

Em suma, esta seção oferece um valioso panorama sobre a intersecção entre a tecnologia e o planejamento urbano. Ao unir o rigor acadêmico da área de Sistemas de Informação com a relevância social dos desafios das *Smart City*, os artigos convidam o leitor a refletir sobre como a inovação tecnológica deve ser estrategicamente utilizada para fomentar um desenvolvimento urbano eficiente e sustentável.

DESENVOLVIMENTO E ARQUITETURA DO ECOSYSTEM: UMA SOLUÇÃO DE TI PARA A GESTÃO INTELIGENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Gustavo Henrique Amaral de Almeida; William Eugênio de Paiva. Orientador: Rauni Gonçalves dos Santos

INTRODUÇÃO

O processo acelerado de urbanização e os atuais padrões de consumo exacerbaram a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), tornando sua gestão um dos desafios mais prementes para as cidades no século XXI. O modelo econômico linear, baseado na extração, produção, uso e descarte, tem levado à exaustão de recursos naturais e à sobrecarga dos sistemas de saneamento, especialmente os aterros sanitários, que recebem mais de 90% dos resíduos coletados no Brasil e representam um paradigma ambientalmente insustentável devido à contaminação do solo e à emissão de gases de efeito estufa (Abrelpe, 2023). Este cenário impõe a necessidade urgente de transição para modelos mais sustentáveis e eficientes de gestão de resíduos, que não apenas mitiguem os impactos ambientais, mas também reconheçam o valor intrínseco dos materiais descartados.

Neste contexto, a transição para uma Economia Circular, que visa a reintrodução de materiais no ciclo produtivo, destaca a reciclagem como uma estratégia fundamental. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, fornece o arcabouço legal para essa mudança, promovendo a responsabilidade compartilhada e incentivando a coleta seletiva e a logística reversa (Brasil, 2010). Contudo, apesar dos avanços normativos, a efetivação dessas práticas em escala nacional enfrenta obstáculos significativos. As taxas de reciclagem permanecem consideravelmente baixas, evidenciando uma lacuna entre a política e a prática, frequentemente atribuída a desafios de infraestrutura, logística e, crucialmente, à baixa adesão e engajamento da população, que muitas vezes carece de informação e motivação para separar e descartar corretamente seus resíduos (Jacobi; Besen, 2011).

A raiz de parte dessa ineficiência reside em uma profunda assimetria de informação e na falta de integração entre os atores essenciais da cadeia de reciclagem: o cidadão (gerador do resíduo), os serviços de coleta (públicos ou privados) e os destinos finais (cooperativas, pontos de

compra e indústrias de reciclagem). O cidadão comum frequentemente desconhece a localização dos pontos de entrega voluntária (PEVs) ou os horários da coleta seletiva. Por sua vez, os operadores logísticos realizam rotas predefinidas, sem visibilidade em tempo real sobre os locais com maior acúmulo de recicláveis, o que gera ineficiência operacional e custos elevados. Essa desconexão sistêmica representa uma barreira crítica para o aumento da recuperação de materiais e a viabilidade econômica da reciclagem (Campos, 2015).

Visando endereçar essa lacuna, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), em especial as aplicações móveis suportadas por sistemas de georreferenciamento, emergem como ferramentas com alto potencial para promover a integração e otimização desses processos. Ao conectar os diferentes stakeholders em uma plataforma unificada, é possível fornecer informações claras, facilitar a comunicação e gerar dados para uma gestão mais inteligente e dinâmica dos resíduos. Desta forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a arquitetura da aplicação móvel *EcoSystem*, que integra um mapa interativo com pontos de coleta, rastreamento da frota de coletores em tempo real e um sistema de notificação de disponibilidade de resíduos pelos usuários.

Para alcançar o objetivo proposto, este trabalho está estruturado em cinco seções. Após esta introdução, a Seção 2 analisa os desafios e oportunidades na reciclagem urbana. A Seção 3 detalha o desenho da pesquisa e o desenvolvimento do sistema. A Seção 4 apresenta e discute os resultados da pesquisa e do protótipo. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

DO DESCARTE À REINTEGRAÇÃO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA RECLICLAGEM URBANA

Este capítulo apresenta e analisa os conceitos que fundamentam o desenvolvimento da plataforma *EcoSystem*. A revisão parte de um panorama sobre o cenário da reciclagem no Brasil, aprofunda-se nos fatores comportamentais que influenciam o engajamento cidadão, analisa criticamente o paradigma das Cidades Inteligentes e, por fim, explora o papel de tecnologias específicas como pontes para superar os desafios identificados.

A RECICLAGEM NO CONTEXTO BRASILEIRO: PANORAMA, POTENCIAL E ATORES SOCIAIS

A reciclagem é um componente essencial para a sustentabilidade urbana e a transição para uma economia circular, transformando resíduos que seriam um passivo ambiental em recursos valiosos e aliviando a pressão sobre os ecossistemas. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) representa um marco legal avançado (Brasil, 2010), mas sua implementação enfrenta desafios que mantêm os índices de reciclagem em patamares incipientes. Dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil indicam que o país recicla apenas 4% do total de resíduos gerados, com a grande maioria ainda sendo destinada a aterros sanitários ou, de forma ainda mais grave, a lixões (Abrelpe, 2023).

Essa lacuna entre o potencial e a realidade se traduz em perdas multifacetadas. Do ponto de vista ambiental, a destinação inadequada de resíduos não apenas esgota a vida útil dos aterros e contamina solos e lençóis freáticos, mas também contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o metano, um gás com potencial de aquecimento muito superior ao do dióxido de carbono (IPCC, 2021). A reciclagem, em contrapartida, gera uma economia substancial de recursos naturais e energia. Por exemplo, a produção de uma lata de alumínio a partir de material reciclado consome 95% menos energia do que a produção a partir da bauxita, a matéria-prima virgem (Abal, 2022).

Sob a ótica econômica, a baixa taxa de reciclagem representa uma perda de receita estimada em bilhões de reais anualmente, com materiais que poderiam ser reintegrados à cadeia produtiva sendo literalmente "enterrados" (IPEA, 2022). O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído em 2022, projeta que o aumento dos índices de recuperação de materiais pode movimentar dezenas de bilhões na economia até 2040, além de gerar milhares de novos "empregos verdes" em toda a cadeia, desde a triagem até a reindustrialização (Brasil, 2022).

Contudo, é no pilar social que o ecossistema de reciclagem brasileiro revela sua característica mais distintiva e crucial: o papel central desempenhado pelos catadores de materiais recicláveis. Organizados em cooperativas ou atuando de forma autônoma, esses agentes são responsáveis por coletar cerca de 90% de tudo o que é reciclado no país, representando um verdadeiro exército de sustentabilidade social e ambiental (ANCAT, 2022; CEMPRE, 2023). Apesar de sua importância fundamental, esses atores frequentemente enfrentam condições de

trabalho precárias, baixa remuneração e invisibilidade social. A PNRS reconhece a importância de sua inclusão e incentiva a contratação de suas organizações, mas na prática, eles ainda operam de forma desarticulada com o poder público e os grandes geradores. Qualquer solução tecnológica que vise otimizar a reciclagem no Brasil deve, portanto, não apenas conectar a cadeia, mas também reconhecer, valorizar e buscar fortalecer o papel desses agentes como protagonistas do processo.

FATORES COMPORTAMENTAIS E O DESAFIO DO ENGAJAMENTO CIDADÃO

A existência de infraestrutura, por si só, não garante a eficácia da coleta seletiva. A falha mais crítica frequentemente ocorre no "primeiro quilômetro" (*first-mile problem*) da cadeia: a etapa que depende da ação do cidadão em sua residência ou local de trabalho. Estudos no campo da psicologia ambiental e da economia comportamental demonstram que a decisão de um indivíduo de adotar um comportamento pró-ambiental, como a reciclagem, é influenciada por um complexo conjunto de fatores que vão muito além da simples consciência ecológica.

Um dos modelos teóricos mais robustos para explicar essa dinâmica é a Teoria do Comportamento Planejado (TCP) de Icek Ajzen. Segundo essa teoria, a intenção de realizar um comportamento é o seu principal preditor e é determinada por três fatores principais: (1) a Atitude em relação ao comportamento (a avaliação positiva ou negativa do ato de reciclar); (2) as Normas Subjetivas (a percepção da pressão social de pessoas importantes, como família e vizinhos, para reciclar); e (3) o Controle Comportamental Percebido (a facilidade ou dificuldade percebida para realizar o comportamento) (Ajzen, 1991).

Nesse contexto, as barreiras à reciclagem no Brasil podem ser analisadas sob a ótica da TCP:

Falta de Informação e o Impacto na Atitude: A primeira barreira é a assimetria informacional. O desconhecimento sobre quais materiais são de fato recicláveis, como separá-los corretamente, os horários da coleta ou a localização de pontos de entrega (PEVs) gera incerteza e pode levar a uma atitude negativa ou de indiferença (Jacobi; Besen, 2011). Se o cidadão não acredita que o sistema funciona ou que sua contribuição será efetiva, sua atitude positiva se enfraquece.

Inconveniência e o Controle Comportamental Percebido: A segunda barreira, a percepção de inconveniência, ataca diretamente o controle comportamental percebido. A crença de que

separar os resíduos exige muito tempo, esforço, ou que não há espaço físico adequado para armazenar os recicláveis, diminui a percepção de que é "fácil" reciclar. Quanto maior o atrito (obstáculos) no processo, menor a probabilidade de a intenção se converter em ação, mesmo que a pessoa tenha uma atitude positiva (Thaler; Sunstein, 2008).

Normas Sociais e o Efeito Contágio: O ser humano é um ser social, e as normas subjetivas desempenham um papel crucial. A probabilidade de um indivíduo reciclar aumenta significativamente se ele observa seus vizinhos fazendo o mesmo. A ausência de um comportamento visível e coletivo em sua comunidade pode levar à percepção de que "ninguém mais faz, então por que eu deveria fazer?". Muitas campanhas falham por não conseguirem criar essa percepção de norma social positiva e ativa.

Ausência de *Feedback* e a Manutenção do Hábito: Finalmente, a barreira da ausência de um ciclo de *feedback* positivo impede a transformação da ação em hábito. O cidadão não sabe se seu esforço gerou impacto, se o material que ele separou foi de fato reciclado ou se acabou no mesmo aterro. Sem esse reforço, a motivação inicial se dissipa. Estratégias de gamificação, que aplicam elementos de jogos (como pontos e recompensas) para fornecer *feedback* instantâneo e reconhecimento, têm sido exploradas como uma forma de manter o engajamento a longo prazo (Deterding *et al.*, 2011).

Portanto, estratégias convencionais, como campanhas de conscientização genéricas, mostram-se insuficientes por não endereçarem simultaneamente todas essas barreiras. Elas podem até melhorar a "atitude", mas falham em reduzir a "inconveniência", em criar "normas sociais" visíveis e em prover "*feedback*", que são cruciais para a consolidação do hábito.

O PARADIGMA DAS CIDADES INTELIGENTES E A NECESSIDADE DE UM MODELO CONTEXTUALIZADO

Em resposta aos complexos desafios urbanos contemporâneos, o conceito de Cidade Inteligente (*Smart City*) emergiu como um paradigma dominante, propondo o uso intensivo de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para otimizar a infraestrutura, os serviços e promover a sustentabilidade (Lemos, 2013). No campo da gestão de resíduos, essa visão se materializou no modelo de *Smart Waste Management*. Este modelo, frequentemente promovido por grandes corporações de tecnologia, baseia-se em uma infraestrutura de *hardware* robusta,

utilizando a Internet das Coisas (*IoT*) para instalar sensores de capacidade em contentores de lixo, *Big Data* para analisar os padrões de geração e algoritmos de Inteligência Artificial para otimizar as rotas de coleta em tempo real (Pereira *et al.*, 2017).

No entanto, uma análise crítica deste modelo "*top-down*" (de cima para baixo) revela barreiras significativas de aplicabilidade, especialmente no contexto do Sul Global e do Brasil. A primeira e mais evidente barreira é o alto custo de implementação e manutenção. A instalação e a gestão de milhares de sensores e da infraestrutura de rede associada são financeiramente inviáveis para a vasta maioria dos municípios brasileiros, que já operam com orçamentos restritos para serviços básicos.

Além da barreira financeira, este modelo incorre em outras desvantagens críticas:

Dependência Tecnológica: Cria uma forte dependência de fornecedores estrangeiros, gerando custos recorrentes de licenciamento e manutenção e limitando a autonomia tecnológica local.

Exclusão Social: Ao focar exclusivamente na automação via *hardware*, este paradigma frequentemente ignora os atores sociais já existentes na cadeia, como os catadores e as cooperativas. Uma implementação puramente tecnológica poderia, paradoxalmente, precarizar ou até mesmo excluir esses agentes fundamentais do sistema que se busca otimizar.

Inflexibilidade: Soluções de prateleira (*off-the-shelf*) são, por natureza, pouco adaptáveis às complexas e diversas realidades sociais e geográficas das cidades brasileiras.

Essa lacuna evidencia a necessidade de se repensar o próprio conceito de "inteligência" urbana. Em contraposição ao modelo tecnocêntrico, surge a perspectiva de uma Cidade Inteligente centrada nas pessoas (*people-centric smart city*), que adota uma abordagem "*bottom-up*" (de baixo para cima). Nesta visão, a inteligência da cidade não reside apenas em sensores caros, mas na inteligência coletiva de seus cidadãos (Greenfield, 2013). Trata-se de um modelo baseado em inovação frugal: criar soluções de alto impacto com recursos escassos, utilizando tecnologias já amplamente disseminadas, como os smartphones. A proposta é transformar o cidadão, que antes era um ator passivo, em um "sensor humano" ativo, que gera dados valiosos de forma voluntária e distribuída. Surge, assim, a necessidade de um modelo de "inteligência" mais adaptado, inclusivo e economicamente viável para a realidade local.

A TECNOLOGIA COMO PONTE: FERRAMENTAS PARA UMA RECICLAGEM CONECTADA

É precisamente na interseção entre os desafios sociais, comportamentais e tecnológicos que surgem as oportunidades para inovação. As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), quando aplicadas de forma estratégica, podem servir como uma ponte de baixo custo para conectar os elos perdidos da cadeia de reciclagem, superando as barreiras de custo do paradigma de *Smart City* tradicional. A proposta do *EcoSystem* se fundamenta na sinergia de duas abordagens tecnológicas já validadas em outros setores urbanos: os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e a geração de dados por meio do *crowdsourcing*.

A aplicação de GIS para roteirização dinâmica já é uma realidade consolidada na otimização de serviços. Plataformas de transporte por aplicativo, como a Uber, e sistemas de transporte público em cidades como o Rio de Janeiro, abandonaram as rotas estáticas em favor de modelos que se ajustam em tempo real às condições da cidade, otimizando tempo e recursos. No entanto, a gestão de resíduos, em grande parte, ainda opera sob a lógica de rotas fixas e pré-programadas, um modelo ineficiente por não refletir a dinâmica real da geração e acúmulo de resíduos.

O que possibilita a roteirização dinâmica nesses sistemas é a existência de dados em tempo real, e é aqui que o *crowdsourcing* se torna revolucionário. Plataformas como o Waze demonstraram o imenso poder de transformar milhões de cidadãos em uma rede de sensores distribuídos. Este modelo, conhecido academicamente como Informação Geográfica Voluntária (*VGI - Volunteered Geographic Information*), operacionaliza o conceito de "Cidadão como Sensor" (*Citizen as a Sensor*) (Goodchild, 2007). No Waze, os usuários reportam ativamente as condições da via, gerando os dados que alimentam os algoritmos de otimização. Existe um claro paralelo entre o engarrafamento de veículos e o "engarrafamento" de resíduos acumulados; contudo, faltam as ferramentas para que os cidadãos possam "reportar" esse acúmulo e transformar essa informação voluntária em ação logística.

O *EcoSystem*, portanto, emerge como uma síntese estratégica dessas duas abordagens. Ele utiliza o GIS como a plataforma para visualização e roteirização, e o VGI, via *crowdsourcing*, como o motor de dados que alimenta o sistema. Ao fazer isso, a aplicação não se torna apenas um mapa, mas uma intervenção direta nos fatores comportamentais (reduzindo a inconveniência e

fornecendo informação, como visto em 2.2) e um modelo de *Smart Waste Management* de baixo custo (substituindo sensores caros pela inteligência coletiva, como discutido em 2.3). É, em essência, uma ponte digital que utiliza ferramentas tecnológicas validadas para conectar cidadãos, coletores (incluindo catadores e cooperativas) e pontos de descarte, atacando a raiz dos problemas de engajamento e eficiência na reciclagem urbana.

DESENHO DA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Este estudo adota uma abordagem metodológica mista, combinando uma fase de pesquisa exploratória qualitativa com uma fase de desenvolvimento tecnológico. A primeira fase teve como objetivo aprofundar a compreensão sobre o problema e validar as premissas do projeto através da perspectiva de um especialista. A segunda fase consistiu no desenvolvimento de um protótipo funcional, o aplicativo *EcoSystem*, como solução para as lacunas identificadas.

FASE 1: PESQUISA EXPLORATÓRIA PARA VALIDAÇÃO DO PROBLEMA

Para embasar o desenvolvimento da solução tecnológica, foi realizada uma pesquisa de natureza exploratória, conforme Gil (2008), visando obter uma compreensão aprofundada sobre os desafios práticos da cadeia de reciclagem no "primeiro quilômetro".

O método escolhido para a coleta de dados foi a entrevista semiestruturada, que, segundo Severino (2007), permite a flexibilidade necessária para explorar tópicos emergentes durante a conversa. Foi selecionada uma especialista da área, que atua como Secretária de Meio Ambiente de Carlópolis no Paraná e possui 7 anos de experiência no setor. Sua expertise foi fundamental para validar os desafios que o aplicativo visa solucionar.

Para a coleta, utilizou-se um roteiro de entrevista com perguntas abertas, focado nos seguintes eixos: (1) Desafios de comunicação com o cidadão, (2) Ineficiências da logística de coleta e (3) O papel da tecnologia na otimização dos processos. Um exemplo de questão aplicada foi: "Na sua experiência, quais são os maiores gargalos de informação entre os cidadãos que separam o lixo e a equipe que realiza a coleta?". A entrevista foi realizada online no dia 09 de junho, gravada com o consentimento da participante e posteriormente transcrita para análise.

Os dados coletados foram analisados qualitativamente pelo método de análise de conteúdo de Bardin (2011), buscando identificar padrões e categorias relevantes que informaram diretamente os requisitos e o design das funcionalidades do aplicativo *EcoSystem*.

FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO TECNOLÓGICO (ECOSYSTEM)

Com base nos insights validados, procedeu-se ao desenvolvimento do protótipo. A arquitetura da solução foi projetada seguindo o modelo cliente-servidor em três camadas: Apresentação (aplicativo móvel), Aplicação (*backend* com API RESTful) e Dados (banco de dados).

Para a implementação da plataforma, foram selecionadas tecnologias modernas e de ampla utilização no mercado. O desenvolvimento do aplicativo *frontend* foi realizado utilizando o *framework React Native*. O *backend* foi construído em Node.js com o *framework Express.js* para a criação da API. Para a persistência dos dados, optou-se pelo banco de dados NoSQL MongoDB. As APIs externas integradas foram a *Google Maps API* e a *Google Directions API* para as funcionalidades de georreferenciamento, e o Firebase Cloud Messaging para o sistema de notificações. A infraestrutura de nuvem foi implementada na *Amazon Web Services (AWS)*, utilizando os serviços EC2, S3 e MongoDB Atlas.

As principais funcionalidades desenvolvidas foram: um sistema de cadastro e autenticação de usuários; um mapa interativo com pontos de coleta e rastreamento da frota; a visualização de rotas para descarte; uma funcionalidade de notificação de resíduos via *crowdsourcing*; e um *dashboard* para o coletor visando a otimização de rotas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa, integrando os insights obtidos na entrevista com a especialista e a demonstração do protótipo funcional da plataforma *EcoSystem*. A discussão dos resultados é realizada em paralelo, conectando os achados práticos com a literatura revisada.

A Visão da Especialista: Validando Desafios e Oportunidades

A entrevista com a Secretária de Meio Ambiente foi fundamental para validar as barreiras práticas da reciclagem e explorar o potencial de novas soluções. A análise revelou dois macroproblemas centrais e uma oportunidade estratégica de engajamento.

Primeiro, foi validado o "gargalo informacional" entre o poder público e o cidadão. A especialista relatou que “A falta de comunicação [...] associada a falta de um padrão de consciência sobre reciclagem [...], pode afetar o desempenho sobre a quantidade e a qualidade dos recicláveis”. Este achado prático confirma a "assimetria de informação" (Campos, 2015) e a baixa adesão por falta de informação (Jacobi; Besen, 2011).

Segundo, confirmou-se a "ineficiência logística" de um sistema não-dinâmico. A entrevistada destacou que a logística pré-estabelecida não é uma vantagem, pois “seria necessário que a coleta fosse mais personalizada” para atender bairros com diferentes volumes de geração. Essa declaração evidencia a necessidade de migrar de modelos reativos para proativos, alinhando-se à crítica feita aos modelos tradicionais (Pereira *et al.*, 2017).

Finalmente, a entrevista validou o potencial de mecanismos de incentivo direto para o engajamento. Ao ser questionada sobre a implementação de uma "moeda verde" no aplicativo — um sistema de bônus por reciclagem que poderiam ser trocados por descontos e serviços — a especialista considerou a proposta uma “excelente ideia”, ressaltando que “até já existem lugares onde adotam essa prática aumentando a atividade de reciclagem entre cidadãos e recicladores”. Esta validação alinha-se a princípios da economia comportamental, que demonstram como incentivos positivos podem criar e sustentar novos hábitos (Thaler; Sunstein, 2008). A eficácia de tais programas é observada em iniciativas brasileiras, como o "Câmbio Verde" de Curitiba-PR e a "Moeda Verde" de Santo André - SP, que trocam resíduos por alimentos ou serviços (Prefeitura de Curitiba, 2023; Semasa, 2023).

Portanto, os insights da especialista não apenas validaram os requisitos essenciais para a solução — informar o cidadão e otimizar a logística — mas também reforçaram a viabilidade de uma funcionalidade de gamificação e recompensa como diferencial estratégico para garantir a adesão contínua.

O PROTÓTIPO ECOSYSTEM: UMA RESPOSTA TECNOLÓGICA INTEGRADA

Diante dos desafios de informação, logística e engajamento validados, o protótipo funcional do *EcoSystem* foi desenvolvido como uma solução tecnológica integrada que opera em duas frentes principais, atendendo aos perfis de "Cidadão" e "Coletor". A plataforma foi projetada não apenas para conectar esses atores, mas para realinhar seus incentivos e otimizar suas ações. Para o perfil "Cidadão", a aplicação atua em três níveis para superar as barreiras do engajamento. Primeiramente, para resolver o "gargalo informacional", o usuário tem acesso a um mapa interativo que geolocaliza todos os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e cooperativas em sua região. É possível selecionar cada ponto para consultar informações detalhadas, como horário de funcionamento, tipos de materiais aceitos e traçar a rota mais eficiente até o local.

Em segundo lugar, para atacar o "problema do primeiro quilômetro", a plataforma implementa uma funcionalidade de crowdsourcing. O cidadão pode, com um simples comando, sinalizar que possui resíduos recicláveis prontos para o descarte. Essa ação registra sua localização no sistema como um ponto de demanda de coleta, transformando uma necessidade passiva em um sinal ativo para a rede de coletores. Finalmente, para endereçar a barreira da motivação e criar um ciclo de *feedback* positivo, o *EcoSystem* incorpora um sistema de incentivos baseado em uma "moeda verde". A cada coleta bem-sucedida a partir de uma sinalização no aplicativo, o usuário acumula créditos em uma carteira digital. Esses créditos podem ser posteriormente trocados por descontos em comércios locais, serviços públicos ou outros benefícios, materializando o valor do resíduo e recompensando diretamente o esforço do cidadão, conforme a oportunidade validada pela especialista. Para o perfil "Coletor", a plataforma oferece um *dashboard* logístico desenhado para combater a "ineficiência" do sistema tradicional de rotas fixas. O coletor visualiza um mapa da cidade que exibe, em tempo real, uma camada de dados com todos os pontos de demanda gerados pelos cidadãos. Essa interface permite que a rota de coleta seja planejada ou ajustada dinamicamente para atender às áreas de maior acúmulo de material, otimizando o tempo de trabalho, economizando combustível e maximizando a quantidade de recicláveis recuperados.

DISCUSSÃO INTEGRADA

Os resultados do protótipo demonstram uma forte sinergia entre o problema validado, a fundamentação teórica e a solução tecnológica proposta. O "gargalo informacional" relatado pela especialista é diretamente mitigado pelas funcionalidades do mapa interativo, que centraliza e facilita o acesso à informação. A "ineficiência logística" é endereçada pelo *dashboard* do coletor, que materializa a aplicação de GIS e VGI (*crowdsourcing*) — inspirada em modelos como Waze e Uber — para criar um sistema de coleta dinâmico e proativo.

Adicionalmente, o sistema de "moeda verde" ataca diretamente a barreira da desmotivação e da falta de *feedback*, criando o ciclo de reforço positivo e o incentivo direto que a literatura da economia comportamental aponta como cruciais para a consolidação de hábitos sustentáveis.

O *EcoSystem*, portanto, se posiciona como um modelo de *Smart Waste Management* de baixo custo e centrado no cidadão, uma alternativa viável ao paradigma de alto custo baseado em *hardware* criticado na Seção 2.3. A plataforma não apenas resolve problemas operacionais, mas também fortalece o ecossistema de reciclagem ao conectar digitalmente seus atores essenciais e, fundamentalmente, alinhar seus incentivos econômicos e sociais.

CONCLUSÃO

Este artigo se propôs a enfrentar as lacunas sistêmicas na cadeia de reciclagem urbana no Brasil, caracterizadas pela assimetria de informação, ineficiência logística e baixa motivação dos cidadãos. Para tal, apresentou o desenvolvimento e a arquitetura da aplicação móvel *EcoSystem*. Por meio de uma metodologia mista, que uniu pesquisa exploratória com especialista e desenvolvimento de protótipo, o trabalho validou os desafios centrais e construiu uma solução tecnológica direcionada. Os resultados demonstraram que o *EcoSystem*, com suas funcionalidades de mapa interativo, *crowdsourcing* de resíduos, *dashboard* para coletores e um sistema de incentivos, constitui uma resposta prática e integrada aos problemas identificados.

A principal contribuição deste trabalho é a proposição e prototipação de um modelo de *Smart Waste Management* de baixo custo, contextualizado à realidade brasileira. No plano prático, a contribuição é o próprio protótipo do *EcoSystem*, uma plataforma socio-técnica que conecta cidadãos, coletores (incluindo catadores e cooperativas) e pontos de descarte. No plano teórico, a

contribuição é a articulação de um modelo fundamentado nos princípios da inovação frugal e da Informação Geográfica Voluntária (VGI), utilizando o "cidadão como sensor". Esta abordagem se posiciona como um contraponto crítico aos modelos de Cidades Inteligentes "*top-down*", que são intensivos em capital e dependentes de *hardware*. Adicionalmente, o trabalho demonstra a aplicação de conceitos da economia comportamental ao introduzir o mecanismo da "moeda verde", um sistema de incentivos diretos projetado para criar e sustentar o hábito da reciclagem.

Como limitações, reconhece-se que este estudo se concentrou no desenvolvimento de um protótipo e na validação conceitual com uma única especialista. A plataforma não foi submetida a um teste de campo em larga escala para avaliar sua usabilidade, escalabilidade e impacto real nas taxas de reciclagem. As dinâmicas de adesão de múltiplos usuários (cidadãos e coletores) em um cenário real ainda precisam ser investigadas. Apesar disso, o modelo proposto carrega implicações sociais relevantes, sobretudo no potencial de inclusão digital e fortalecimento econômico de catadores e cooperativas, que podem utilizar a ferramenta para otimizar suas coletas e aumentar sua renda.

Para trabalhos futuros, a etapa primordial é a realização de um projeto piloto em um bairro ou município de pequeno porte. Tal estudo permitiria avaliar métricas de impacto, como o aumento do volume de material reciclado, a redução do tempo de coleta e o nível de engajamento dos usuários. Recomenda-se também a expansão das funcionalidades de gamificação, para além da "moeda verde", com a inclusão de *rankings*, desafios comunitários e selos de reconhecimento. Estrategicamente, a evolução da plataforma vislumbra sua integração com sistemas de gestão pública, transformando o *EcoSystem* em uma poderosa ferramenta de geração de dados. Tais dados permitiriam aos municípios criar políticas públicas baseadas em evidências, monitorar a eficiência da coleta em diferentes setores e planejar a expansão da infraestrutura de reciclagem de forma inteligente e dinâmica.

REFERÊNCIAS

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023. São Paulo: ABRELPE, 2023.

AJZEN, I. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Anuário de Estatísticas 2022. São Paulo: ABAL, 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (ANCAT). Relatório Anual de Atividades 2022. Brasília: ANCAT, 2022.
BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abr. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: Ciência e Tecnologia da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, L. M. S. A tecnologia da informação como ferramenta para a gestão de resíduos sólidos. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 9, n. 3, p. 59-73, 2015.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). Pesquisa Ciclosoft 2023. 2023.
DETERDING, S. *et al.* From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. ACM, 2011. p. 9-15.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. GeoJournal, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

GREENFIELD, A. Against the smart city. New York: Do Projects, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2022. [Nota: Ajuste esta referência para o relatório específico que você usar].

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

LE MOS, A. A comunicação das coisas: teoria ator-rede e cidades inteligentes. São Paulo: Annablume, 2013.

PEREIRA, G. V. *et al.* Smart waste management: a review of the literature. In: 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). IEEE, 2017. p. 1-6.

PREFEITURA DE CURITIBA. Câmbio Verde. Curitiba, 2023. Disponível em: . Acesso em: 04 out. 2025.

SERVIÇO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTO ANDRÉ (SEMASA). Moeda Verde. Santo André, 2023. Disponível em: . Acesso em: 04 out. 2025.

SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

THALER, R. H.; SUNSTEIN, C. R. Nudge: O empurrão para a escolha certa. Rio de Janeiro: Objetiva, 2008.

IMPACTOS DO MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE ÔNIBUS NA QUALIDADE DE VIDA DOS USUÁRIOS DE TRANSPORTE COLETIVO

Carlos Henrique Vieira da Silva; Leonardo Isaías das Chagas; Maicon de Souza Lucas.

Orientadora: Profa. Me. Michele de Santana Carmelossi

INTRODUÇÃO

O transporte coletivo é parte essencial da vida urbana em várias cidades brasileiras, desempenhando papel decisivo na maneira como as pessoas se deslocam no dia a dia. Em cidades de médio porte, como Pouso Alegre (MG), o ônibus ainda representa o principal meio de transporte para grande parte da população. É por meio dele que milhares de cidadãos conseguem chegar ao trabalho, acessar serviços de saúde, frequentar instituições de ensino ou simplesmente se deslocar para atividades de lazer.

Porém, a falta de informações confiáveis sobre horários, itinerários e eventuais atrasos torna o uso desses serviços mais difíceis, resultando em perda de tempo, sensação de insegurança e frustração, especialmente para quem depende exclusivamente desse meio de transporte.

O avanço tecnológico das últimas décadas tem permitido repensar esse cenário, oferecendo soluções inovadoras para os desafios da mobilidade urbana. O uso de tecnologia de geolocalização e dos Sistemas de Transporte Inteligentes (*ITS*) tem mostrado resultados positivos em diferentes contextos. Elijah *et al.* (2023) apontam que dispositivos de Internet das Coisas (*IOT*) aplicados em ônibus podem reduzir significativamente o tempo de espera dos passageiros ao tornar as viagens mais previsíveis.

Rashvand *et al.* (2023) demonstram que o uso de técnicas de inteligência artificial como aprendizado profundo é capaz de prever o horário de chegada com elevado grau de precisão, aumentando a confiabilidade do sistema. Complementando, Jiang *et al.* (2024) destacam que o monitoramento em tempo real não beneficia apenas o usuário, mas também pode ser usado na gestão do tráfego urbano em uma escala maior, ampliando os impactos positivos para toda a cidade.

Neste contexto a discussão sobre a adoção de sistemas de monitoramento em tempo real em Pouso Alegre se torna pertinente. Mais do que uma inovação tecnológica, se trata de uma possibilidade de mudar a forma com que a população se relaciona com o transporte coletivo,

trazendo melhorias que vão do operacional ao conforto e bem-estar dos passageiros. Com isso surge a pergunta que orienta esse estudo.

Como o monitoramento em tempo real de ônibus pode melhorar a qualidade de vida dos usuários do transporte coletivo urbano em Pouso Alegre?

Esse artigo busca analisar cidades que possuem algum sistema de monitoramento de transporte público em tempo real e avaliar os benefícios de sua aplicação em Pouso Alegre. Ao seguir o movimento das chamadas cidades inteligentes, essa proposta visa reforçar a importância de compreender em mobilidade como um direito fundamental, que deve ser garantido com qualidade, acessibilidade e previsibilidade.

MOBILIDADE URBANA, TRANSPORTE COLETIVO E QUALIDADE DE VIDA

A mobilidade urbana tem impacto direto no cotidiano das pessoas. Não se trata apenas de ir de um ponto a outro, mas de como esse deslocamento acontece: se é rápido, confiável e acessível, ou se acaba se tornando um desafio diário.

O modo como as cidades brasileiras cresceram, em muitos casos sem planejamento adequado, trouxe mudanças importantes na forma como a população se desloca e na relação entre transporte coletivo e individual.

Para milhões de usuários de ônibus, a experiência do transporte vai além do trajeto em si. A espera no ponto, a dúvida sobre atrasos e a previsibilidade das viagens são fatores que pesam tanto quanto o tempo gasto dentro do veículo. Um ônibus que não chega no horário pode significar a perda de compromissos importantes, enquanto um sistema confiável gera tranquilidade e melhora a rotina de quem depende dele.

Pesquisas destacam que a previsibilidade no transporte coletivo não apenas economiza tempo, mas também reduz o estresse, aumenta a sensação de autonomia e amplia o acesso da população a oportunidades de trabalho, educação, saúde e lazer (Loo; Tsoi, 2024). Apesar desses benefícios, observa-se em várias cidades uma queda no número de passageiros. A concorrência com outras formas de transporte e as dificuldades financeiras enfrentadas pelas empresas de ônibus ajudam a explicar esse movimento. Esse cenário reforça a urgência de políticas públicas e da adoção de soluções tecnológicas que devolvam ao transporte coletivo a confiança e a atratividade necessárias para que volte a ocupar um papel central na mobilidade urbana.

SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES (ITS) E PADRÕES DE DADOS EM TEMPO REAL

Os Sistemas de Transporte Inteligentes (*ITS*) reúnem soluções baseadas em sensores, comunicações e análise de dados para apoiar planejamento, operação e informação ao usuário. No transporte por ônibus, destacam-se o *AVL* (localização automática de veículos), painéis e aplicativos com previsão de chegada (*ETA*), bilhetagem eletrônica e contadores automáticos de passageiros. A padronização de dados é peça-chave para a escalabilidade dessas soluções. No mundo, o *General Transit Feed Specification (GTFS)* e sua extensão *GTFS-Realtime* consolidaram-se como padrões abertos para disponibilizar horários programados, posições de veículos, alertas e atualizações de viagem. O uso de *GTFS-RT* permite medir atrasos de forma comparável entre redes, apoiar priorização de corredores e transparência, além de alimentar aplicativos de informação ao usuário.

Larsen (2020) mostra que os dados em tempo real, especialmente quando estruturados no padrão *GTFS-RT*, podem ser utilizados para estimar tempos de viagem com maior precisão. Essa aplicação contribui para avaliar a confiabilidade do sistema e oferecer previsões mais úteis para os passageiros. Ao mesmo tempo, o estudo destaca que a abertura desses dados cria condições para que empresas de transporte e gestores desenvolvam ferramentas de acompanhamento, apoiando decisões que visam melhorar a comunicação com os usuários e a qualidade do serviço prestado.

QA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE ÔNIBUS, IOT E PREDIÇÃO DE CHEGADA

O monitoramento em tempo real de ônibus combina geolocalização embarcada (*GPS/AVL*) e transmissão de dados para estimar a chegada às paradas (*ETA*) e informar os passageiros. De acordo com Elijah *et al.* (2023), soluções baseadas em Internet das Coisas (*IoT*), como o uso de *beacons Bluetooth* de baixo consumo em pontos de ônibus, têm se mostrado alternativas promissoras e de baixo custo para alimentar sistemas de informação em tempo real

No campo da previsão de horários, Lee *et al.* (2022) demonstram que abordagens de aprendizado profundo baseadas em centralidade espaço-temporal conseguem superar modelos estatísticos tradicionais, capturando melhor as variações do tráfego. Esses modelos podem

incorporar variáveis contextuais (clima, sazonalidade, velocidade histórica) e alcançar erros médios absolutos baixos, tornando as estimativas mais úteis para a tomada de decisão e para a comunicação ao usuário.

No Brasil, capitais e grandes metrópoles já oferecem algum nível de monitoramento em tempo real como o Olho Vivo (SPTrans), que expõe posições de veículos por *API*, enquanto municipalidades de médio porte avançam de forma heterogênea. Em Curitiba, por exemplo, Silva, Pereira e Carvalho (2025) apontam uso amplo do GTFS estático para avaliação de acessibilidade, mas registram a ausência de *GTFS-Realtime* público no período analisado, o que limita análises de confiabilidade e a oferta de previsões em tempo real. Para cidades como Pouso Alegre, esse quadro revela uma oportunidade de salto tecnológico com custos decrescentes de *hardware* e maturidade de padrões e ferramentas.

IMPACTOS SOBRE A QUALIDADE DE VIDA E A GESTÃO URBANA

A literatura recente relaciona a eficiência do transporte coletivo e a disponibilidade de informação em tempo real a múltiplas dimensões de qualidade de vida: redução do estresse associado à incerteza no ponto (Loo; Tsoi, 2024), diminuição do tempo de espera efetivo e percebido (De Vos, 2023), previsibilidade para conciliar compromissos e maior segurança subjetiva. No plano coletivo, dados em tempo real e suas análises derivadas (por exemplo, métricas de atraso e confiabilidade por segmento) subsidiam políticas de priorização viária, gerenciamento de tráfego e integração modal, com potenciais efeitos de bem-estar agregado. Pesquisas na interface mobilidade-saúde sugerem que sistemas mais previsíveis e acessíveis favorecem hábitos de deslocamento menos excludentes, com impactos positivos em autonomia e inclusão.

Do ponto de vista de governança, o monitoramento em tempo real amplia a transparência e a prestação de contas perante a sociedade ao permitir o acompanhamento contínuo da qualidade do serviço, inclusive por terceiros. Para a gestão municipal, dados abertos em padrões amplamente aceitos (*GTFS/GTFS-RT*) reduzem custos de integração, facilitam parcerias e estimulam o ecossistema de inovação local, com externalidades positivas sobre eficiência operacional e satisfação do usuário.

METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida sob uma abordagem qualitativa e bibliográfica, voltada à interpretação dos fenômenos sociais à luz de autores consagrados da metodologia científica. Segundo Gil (2008), esse tipo de estudo permite compreender o significado das práticas humanas em determinado contexto. Foram analisados livros, dissertações e artigos científicos nacionais e internacionais sobre mobilidade urbana, transporte coletivo e cidades inteligentes.

O levantamento bibliográfico utilizou as bases Scielo, *Google Scholar* e CAPES Periódicos, priorizando publicações entre 2020 e 2025. As palavras-chave incluíram “monitoramento em tempo real”, “mobilidade urbana”, “*GTFS-Realtime*”, “transporte coletivo” e “qualidade de vida urbana”. A seleção das fontes seguiu o modelo proposto por Marconi e Lakatos (2017), buscando diversidade e relevância científica.

Após o levantamento, as obras foram submetidas à técnica de análise de conteúdo descrita por Bardin (2016), que orienta a categorização e interpretação dos dados. A análise foi organizada em três eixos: experiência do usuário, eficiência operacional e impactos sociais e ambientais. Por fim, aplicaram-se as reflexões de Severino (2018), considerando a pesquisa como processo interpretativo e socialmente responsável.

Esse método permitiu não apenas revisar a literatura, mas também identificar tendências e implicações práticas do uso de dados em tempo real no transporte coletivo, especialmente em cidades médias brasileiras, como Pouso Alegre.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura revelou que o monitoramento em tempo real de ônibus provoca mudanças significativas tanto na gestão pública quanto na percepção dos usuários. Ao reduzir a incerteza e ampliar o acesso à informação, ele fortalece o transporte coletivo como serviço essencial e elemento estruturante da cidade.

EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO E PERCEPÇÃO DE QUALIDADE

A imprevisibilidade é uma das principais causas de insatisfação no transporte coletivo. De acordo com De Vos, Ermagun e Shaw (2023), o tempo de espera percebido é mais determinante para a avaliação de qualidade do que o tempo real de viagem. Quando o passageiro tem acesso a informações confiáveis, sente-se mais seguro e reduz o estresse associado ao deslocamento.

Nesse sentido, o estudo de Loo e Tsoi (2024) reforça que o monitoramento em tempo real melhora o bem-estar psicológico dos usuários, diminuindo a sensação de desorganização. Em cidades médias, onde os ônibus são o principal meio de transporte da população trabalhadora, essa previsibilidade se traduz em conforto e confiança.

Além do aspecto emocional, há também um valor coletivo na informação acessível. Castells (2021) defende que a sociedade em rede depende da circulação transparente de dados para garantir o acesso equitativo e a participação cidadã, o que reforça a necessidade de um transporte coletivo eficiente e integrado.

Para o contexto brasileiro, a disponibilidade de dados padronizados fortalece a confiança e a transparência. Silva, Pereira e Carvalho (2025) evidenciam que a ausência de *GTFS-Realtime* público limita a previsibilidade e a qualidade da comunicação com o usuário, ressaltando a importância de disponibilizar posições de veículos e alertas em tempo real.

Por fim, a experiência com previsão de chegada reforça esse caminho. Lee *et al.* (2022) demonstram que modelos baseados em aprendizado profundo capturam variações espaço-temporais do tráfego com maior precisão, o que melhora a utilidade das informações exibidas aos usuários e reduz o tempo de espera percebido, tema central em De Vos *et al.* (2023). Para Pouso Alegre, esse princípio indica que qualquer sistema implementado deve priorizar comunicação simples, previsões robustas e interfaces compreensíveis, como enfatizam Loo e Tsoi (2024).

EFICIÊNCIA OPERACIONAL E GESTÃO PÚBLICA BASEADA EM DADOS

Além da experiência do passageiro, o monitoramento em tempo real melhora a eficiência operacional quando orienta o planejamento dinâmico do serviço. Gkiotsalitis, Cats e Liu (2022) destacam que estratégias de controle em tempo real e sincronização de transferências aumentam a confiabilidade das linhas, reduzem tempos de espera e ajudam a mitigar a irregularidade da frota.

No contexto brasileiro, a padronização e a abertura de dados sustentam decisões de médio e longo prazo. Larsen (2020) demonstra que o uso do GTFS-Realtime permite estimativas de chegada mais confiáveis, identificação de gargalos e aferição contínua de desempenho. Esses elementos dão suporte à redistribuição de veículos, ao ajuste de quadros de horário e à priorização de corredores com base em evidências.

A dimensão tecnológica que alimenta esses ganhos é viabilizada por sensores e conectividade. Elijah *et al.* (2023) mostram que soluções de *IoT*, como *beacons* e dispositivos de baixo consumo, reduzem custos de implantação e ampliam a cobertura do rastreamento, o que torna o monitoramento mais resiliente. Em paralelo, Lee *et al.* (2022) evidenciam que modelos de aprendizado profundo, aliados aos dados de posição, produzem previsões com erro mais baixo e apoiam decisões de reprogramação de viagens.

A governança informacional também importa. Castells (2021) afirma que a informação compõe a infraestrutura da sociedade contemporânea, e serviços públicos que tratam dados como bem coletivo tendem a ganhar eficiência e legitimidade. Ao integrar dados de operação com canais de transparência e retorno ao usuário, a administração municipal fortalece a confiança social e cria um ciclo virtuoso entre avaliação, correção e prestação de contas.

Por fim, Jiang *et al.* (2025) indicam que a utilização de ônibus como sondas urbanas pode ampliar a cobertura de monitoramento do tráfego, oferecendo insumos valiosos para a coordenação entre a gestão do transporte e a gestão viária, o que reforça a pertinência de um sistema integrado em Pouso Alegre. Além da experiência do passageiro, o monitoramento em tempo real melhora a eficiência operacional quando orienta o planejamento dinâmico do serviço. Gkiotsalitis, Cats e Liu (2022) destacam que estratégias de controle em tempo real e sincronização de transferências aumentam a confiabilidade das linhas, reduzem tempos de espera e ajudam a mitigar a irregularidade da frota.

IMPACTOS SOCIAIS, URBANOS E AMBIENTAIS

Os efeitos do monitoramento em tempo real ultrapassam a dimensão operacional e alcançam as esferas social, ambiental e urbana. Gil (2008) ressalta que compreender as práticas humanas exige observar o contexto em que ocorrem, considerando as interações entre indivíduos, instituições e ambiente. No campo da mobilidade, essa compreensão se reflete na forma como o

transporte coletivo é vivenciado pela população e como as tecnologias aplicadas influenciam o cotidiano das pessoas. Um sistema que disponibiliza informações precisas e acessíveis permite ao usuário planejar seus deslocamentos com segurança, reduzindo o tempo de espera e aumentando a sensação de previsibilidade.

Além de otimizar a experiência individual, o monitoramento em tempo real contribui para a eficiência do espaço urbano e para o fortalecimento do transporte coletivo enquanto serviço público essencial. Quando as viagens se tornam mais regulares e previsíveis, há um impacto direto sobre o fluxo viário, a produtividade e a organização das atividades cotidianas. O acesso à informação também reforça o vínculo entre cidadão e gestão pública, uma vez que a transparência operacional cria um ambiente de confiança mútua.

Silva, Pereira e Carvalho (2025) observam que o uso de dados abertos no transporte público é um fator decisivo para a inclusão social, pois amplia a equidade no acesso à cidade. A possibilidade de acompanhar horários e trajetos em tempo real diminui desigualdades de deslocamento, especialmente para trabalhadores e estudantes que dependem exclusivamente do transporte coletivo. Essa democratização da informação permite que diferentes grupos sociais usufruam de forma mais justa dos serviços urbanos, fortalecendo o papel do transporte como instrumento de integração e cidadania.

A dimensão ambiental também é beneficiada pela aplicação de tecnologias inteligentes. A previsibilidade e a redução do tempo ocioso dos veículos contribuem para o consumo mais racional de combustível e para a diminuição de emissões. À medida que o transporte coletivo se torna mais eficiente e confiável, cresce a adesão dos usuários e, conseqüentemente, reduzem-se os impactos ambientais associados ao uso intensivo de automóveis particulares.

Severino (2018) enfatiza que o conhecimento científico deve estar comprometido com a transformação social, o que inclui o uso ético e responsável das inovações tecnológicas em prol do bem comum. O monitoramento em tempo real representa uma ferramenta de transformação porque integra tecnologia, gestão pública e participação cidadã. Quando aplicado de forma transparente, ele gera melhorias tangíveis na qualidade de vida e amplia a percepção de pertencimento urbano.

Investir em sistemas que utilizem dados abertos e confiáveis significa promover eficiência técnica e ao mesmo tempo fortalecer a dimensão humana do transporte coletivo. Essa integração entre tecnologia e responsabilidade social reforça a visão de mobilidade sustentável e colaborativa,

na qual o transporte não é apenas um serviço de deslocamento, mas uma política pública que aproxima as pessoas, melhora o ambiente urbano e promove o desenvolvimento coletivo.

CONCLUSÃO

O monitoramento em tempo real de ônibus tem se mostrado uma mudança importante na gestão do transporte coletivo. Sua aplicação vai além da inovação tecnológica, pois permite o uso sistemático de dados para aperfeiçoar o planejamento, o controle operacional e a comunicação com os usuários.

As análises apontam que a informação em tempo real contribui para diminuir incertezas e melhorar a previsibilidade das viagens, o que afeta diretamente a percepção de qualidade do serviço. Estudos como os de De Vos, Ermagun e Shaw (2023) e Loo e Tsoi (2024) destacam que o tempo de espera percebido é um dos fatores que mais influenciam a satisfação dos passageiros. Ao reduzir esse intervalo e oferecer informações atualizadas, o monitoramento ajuda a tornar o transporte coletivo mais confiável e funcional.

Do ponto de vista da administração pública, o uso de dados padronizados, como o *GTFS-Realtime*, descrito por Larsen (2020), possibilita decisões mais precisas e políticas baseadas em evidências. A integração entre diferentes fontes de informação e a transparência no acesso aos dados fortalecem a coordenação entre órgãos públicos e operadores, ampliando a capacidade de resposta do sistema.

Castells (2021) lembra que a informação é parte essencial das dinâmicas sociais contemporâneas e que seu uso adequado favorece a participação e o controle social. No contexto da mobilidade, isso significa tratar o acesso à informação como parte do direito à cidade. Em municípios de porte médio, como Pouso Alegre, a adoção de sensores de baixo custo e modelos preditivos pode melhorar a gestão e democratizar o acesso a um transporte mais confiável.

O monitoramento em tempo real também gera efeitos econômicos e ambientais relevantes. A regularidade das viagens e o controle sobre o deslocamento da frota reduzem desperdícios de combustível e diminuem emissões, além de facilitar o planejamento de redes mais eficientes e conectadas.

Assim, investir em sistemas de monitoramento baseados em dados abertos é uma decisão que combina gestão, transparência e melhoria contínua. A adoção de ferramentas interoperáveis

reforça a confiança entre a população e o poder público, amplia o acesso aos serviços e estimula o uso de meios coletivos de transporte. O monitoramento em tempo real, quando bem aplicado, representa um passo consistente para modernizar o transporte coletivo e apoiar o desenvolvimento urbano sustentável.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

CASTELLS, Manuel. *A sociedade em rede*. 21. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2021.

COSTA, Samira Manuela da. *Radarbus: Monitoramento de Ônibus em Tempo Real*. 2021. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Campinas, Campinas, 2021.

DE VOS, Jonas; ERMAGUN, Alireza; SHAW, F. Atiyya. Wait time, travel time and waiting during travel: existing research and future directions. *Transport Reviews*, v. 43, n. 5, p. 805–810, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2220206>.

ELIJAH, O. *et al.* Transforming urban mobility with IoT: public bus fleet tracking using proximity-based Bluetooth beacons. *Frontiers in the Internet of Things*, v. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/friot.2023.1255995>.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GKIOTSALITIS, Konstantinos; CATS, Oded; LIU, Yang. A review of public transport transfer synchronisation at the real-time control phase. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 163, p. 103–126, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2035014>

JIANG, S.; SUN, Y.; WONG, W.; XU, Y.; ZHAO, X. Real-time urban traffic monitoring using transit buses as probes. *Transportation Research Record*, v. 2679, n. 3, 2024. DOI:

LARSEN, Gustavo Henrique. *Previsão de tempos de viagem de ônibus com dados abertos em tempo real*. 2020. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-20012021-163526/publico/GustavoHenriqueLarsenCorr20.pdf>.

LEE, C. *et al.* A novel bus arrival time prediction method based on spatio-temporal flow centrality analysis and deep learning. *Electronics*, v. 11, n. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11121875>.

LOO, Becky P. Y.; TSOI, Ka Ho. Stressors for bus commuters and ways of improving bus journeys. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 179, 104164, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104164>.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

RASHVAND, N.; HOSSEINI, S. S.; AZARBAYJANI, M.; TABKHI, H. Real-time bus arrival prediction: a deep learning approach for enhanced urban mobility. *arXiv preprint*, 2023. DOI:

SEVERINO, Antonio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2018.

SILVA, G. M.; PEREIRA, L. A.; CARVALHO, J. S. Índice de mobilidade sustentável em Curitiba: limitações e desafios do uso de GTFS estático diante da ausência de GTFS-Realtime público. In: *ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL – ENANPUR*, 20., 2024, Curitiba. Anais... Curitiba: Editora Realize, 2025. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/enanpur/2025/TRABALHO_COM_IDENT_EV212_MD1_ID1335_TB336_23112024191220.pdf Acesso em: 14 out. 2025.

SIQUEIRA, Luciano Goularte. *Aplicação Bus Tracker – Oferecendo uma melhor experiência aos usuários do transporte urbano, a partir da utilização de informações de rastreamento veicular*. 2012. 64 f. Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia de Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SMART TRAFFIC LIGHTS IN BRAZIL: WHEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MEETS THE HUMAN FACTOR

Lucca de Almeida Rebello Toledo; João Victor dos Santos Pires; Rafael Teixeira Mesquita.

Orientadora: Profa. Aline Heloisa Silva Villela

INTRODUCTION

In the information era, where data constitutes a strategic asset, the volume of content available to individuals is substantial, enabling broad opportunities for research and knowledge acquisition. Coupled with advances in artificial intelligence, processes and services are becoming progressively automated across multiple sectors. According to data from the International Institute for Management Development, published by the National Confederation of Transport (CNT, 2025), the use of generative artificial intelligence has yielded an average savings of approximately three hours per week in corporate routines.

Urban growth exacerbates traffic congestion, producing multidimensional impacts. In Japan, a strategic partnership among organizations has sought to address these challenges. The New Energy and Industrial Technology Development Organization collaborated with the UTMS Society of Japan, with support from the National Police Agency of Japan and the Shizuoka Prefectural Police, to test an innovative solution: intelligent traffic lights (NORIMONO NEWS, 2022). According to the project's researchers, travel time could be reduced by up to 20% compared to conventional signals. Preliminary data suggest that, if applied to approximately 200,000 intersections, these gains would represent an estimated annual benefit of ¥5.52 trillion (about USD 46.3 billion, based on March 2022 exchange rates).

In Brazil, this problem has reached alarming dimensions. Long traffic delays significantly affect both individuals and organizations. A study by TomTom (Wieder, 2022) shows that drivers in major Brazilian capitals spend, on average, more than 200 hours (about 1 week 3 days) per year in congestion—equivalent to over an entire week immobilized in traffic. Beyond the loss of individual productivity, the resulting economic costs reach billions on a national scale, underscoring the urgency of innovative technological solutions.

How can the implementation of AI systems in urban mobility mitigate the multifaceted challenges arising from rapid urbanization? This question is particularly relevant for cities with populations exceeding 150,000 inhabitants.

This research aims to examine and demonstrate how these challenges can be addressed to generate significant improvements through reduced greenhouse gas emissions, optimized time, and resource use, and enhanced urban quality of life—leveraging the vast set of real-time information integrated with intelligent algorithms.

WHEN THE ALGORITHM OPTIMIZES TRAFFIC

Conventional traffic signal systems present significant limitations in dynamic urban environments. Advances in communication and data-processing technologies, however, have transformed urban mobility management, establishing adaptive paradigms based on optimization algorithms. The implementation of adaptive optimization algorithms represents a major advance in regulating vehicular traffic flows, demonstrating measurable effectiveness through quantitative metrics in global practical applications.

In the Brazilian context, emerging public policies are beginning to materialize the potential of these technological solutions. Bill 3048/24 stipulates a five-year deadline for implementation in municipalities with populations exceeding 150,000 inhabitants, underscoring the government's recognition of the strategic importance of such systems (Portal da Câmara dos Deputados, 2024). The convergence of technological developments, empirical evidence, and successful implementation cases provides a robust scientific basis for expanding these innovative systems.

Contemporary scientific investigations indicate growing consensus on the effectiveness of traffic signal systems equipped with artificial intelligence. Research conducted in 100 Chinese municipalities revealed that data-driven platforms could reduce annual urban carbon emissions by up to 31.73 million tons under large-scale implementation (Wu *et al.*, 2025). Corroborating these findings, studies published in Scientific Reports demonstrate that deep reinforcement learning algorithms applied to traffic signal control achieved reductions of up to 60.48% in waiting times under asymmetric traffic flow conditions (Cai; Wei, 2024).

MEASURABLE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

The economic viability of intelligent systems has been consistently reinforced by international studies highlighting substantial returns across diverse implementations. Research conducted in Chinese cities indicates that large-scale adoption can yield significant socioeconomic benefits, including reduced travel times, fuel savings, and lower pollutant emissions (Wu *et al.*, 2025). Global estimates further project substantial cost reductions stemming from decreased congestion and enhanced energy efficiency (Juniper Research, 2021).

In this context, environmental studies suggest consistent reductions in CO₂ emissions, equivalent to removing millions of vehicles from circulation. While such projections are promising, the Brazilian context presents specific challenges that cannot be overlooked. If adapted to Brazil, environmental gains of this magnitude would also translate into improved urban quality of life and reduced inequality in access to services and opportunities.

Practical evidence reinforces these findings. The Surtrac system, implemented in Pittsburgh in partnership with Carnegie Mellon University, demonstrated consistent benefits, including reductions in both travel times and atmospheric emissions (Smart Cities Dive, 2017). This international experience exemplifies the effectiveness of intelligent systems under real-world conditions and expands the evidence base regarding their potential.

However, in the Brazilian case, adaptation still faces significant gaps. Unlike North American or Asian cities, Brazil's infrastructure presents limitations in connectivity and technological integration, alongside fiscal constraints, and unequal distribution of urban benefits. Therefore, although global results confirm the technical and economic feasibility of these systems, their scalability in Brazilian cities depends on consistent public policies, targeted investments, and methodologies tailored to local heterogeneities.

TECHNOLOGICAL AND METHODOLOGICAL CHALLENGES

The modernization of traffic signal systems faces multifactorial obstacles that extend beyond purely technological dimensions, encompassing economic, social, and institutional factors. The effective operation of these systems in complex urban contexts requires mitigating multidisciplinary barriers that may compromise the projected benefits.

From a financial perspective, the initial investment represents a substantial fiscal limitation for municipalities. Although Wu *et al.* (2025) report exceptional returns of USD 31.82 billion against investments of USD 1.48 billion in Chinese cities, the allocation of upfront capital remains a significant challenge. Brazilian municipalities with populations exceeding 150,000 inhabitants, as stipulated in Bill 3048/24, will need to dedicate considerable budgetary resources within a reduced five-year time limit, competing with other pressing municipal demands.

On the infrastructural level, systemic deficiencies hinder modernization. Unstable power grids, inadequate telecommunications networks, and the lack of proper connectivity at numerous intersections characterize the national landscape. These shortcomings necessitate complementary investments that may exponentially increase projected costs. The experience of Pittsburgh with the Surtrac system illustrates this dynamic: infrastructural adjustments represented a significant portion of the total expenditure, often underestimated in preliminary planning (Smart Cities Dive, 2017).

From an operational standpoint, variability in traffic demand profiles introduces additional algorithmic complexity. Sporting events, demonstrations, accidents, and extreme weather conditions generate disruptions that can undermine systemic efficiency. Damadam *et al.* (2022) identified that adaptive systems face critical limitations when processing seasonal variability and unpredictable driver behavior, requiring recurrent parameterization and substantial computational capacity.

In terms of integrated mobility, intermodal synchronization constitutes a central challenge. Systems must coordinate heterogeneous flows across automobiles, public transport, cyclists, and pedestrians, each with distinct priorities and characteristics. Optimizing vehicular traffic in isolation may inadvertently impair other modes of transport, contradicting the principles of sustainable mobility embedded in contemporary urban policies.

Social dimensions also raise concerns regarding equity. Prioritizing specific routes may exacerbate urban inequalities, favoring central areas over residential peripheries. This asymmetric distribution of technological benefits can trigger community resistance and social conflict.

Additionally, maintenance costs are frequently underestimated. Intelligent systems require continuous monitoring, periodic updates, and component replacement. Annual expenditures may represent a substantial fraction of the initial investment, necessitating long-term budgetary planning and specialized technical teams to ensure operational sustainability.

Beyond technical and operational challenges, behavioral resistance represents a major barrier to effective implementation. Cultural patterns specific to the Brazilian context—including informal navigation practices and skepticism toward automated systems—can compromise algorithmic effectiveness. Simultaneously, disparities in digital literacy across different population segments create unequal capacities to understand and appropriately respond to adaptive signaling. Moreover, the absence of prior community engagement can foster social resistance, transforming a technically viable solution into an operational failure due to lack of user adherence.

Finally, from a methodological perspective, effective measurement of outcomes remains an essential challenge. Establishing reliable metrics to evaluate emission reductions, time savings, and impacts on urban quality of life requires standardized protocols and integrated monitoring infrastructures. The absence of widely accepted methodologies hinders cross-comparison between implementations and weakens the foundation for nationwide scalability of these technologies, particularly given Brazil's regional socioeconomic and infrastructural heterogeneities.

METHODOLOGY

This investigation is characterized as exploratory research, an approach suited to phenomena still undergoing theoretical consolidation. According to Lösch, Rambo, and Ferreira (2023), exploratory research enables the examination of complex and little-known issues, potentially leading to a deeper and more comprehensive understanding of the phenomenon under study. From this perspective, the implementation of traffic signal systems based on artificial intelligence represents an emerging topic that requires initial investigation within the Brazilian context.

For this purpose, three specialists were selected based on convenience and technical expertise: an international professional with extensive experience in global technology companies, a public manager working in urban mobility in a major Brazilian city, and a municipal traffic and transportation manager from a medium-sized city. This composition ensures complementary perspectives, addressing both technological aspects and practical applicability in diverse Brazilian urban contexts.

Regarding data collection procedures, the instrument consisted of a structured questionnaire with fixed questions sent by email during September 2025. The survey covered economic,

environmental, and operational impacts of intelligent traffic signal systems, grounded in the established theoretical framework. The responses were subsequently subjected to thematic content analysis in three stages: (i) initial reading and open coding; (ii) category grouping and axial coding; and (iii) synthesis of categories into central themes. Coding was conducted independently by two researchers, with discrepancies resolved by consensus. No specific qualitative analysis software was used.

Furthermore, the specialists were informed in advance about the objectives of the research and consented to participate via electronic response, authorizing the anonymous use of their contributions exclusively for academic purposes. The study adhered to basic ethical principles of confidentiality and informed consent.

RESULTS AND DISCUSSION

Three specialists with complementary profiles participated in the study: (i) an international professional with extensive experience in global technology companies, providing insights into the integration of digital solutions at scale; (ii) a public manager in urban mobility from a major Brazilian city, responsible for modernizing more than 1,200 traffic signal intersections, offering a perspective on large-scale implementation; and (iii) a municipal traffic and transportation manager from a medium-sized city, contributing practical insights into applicability within local urban contexts. This diversity of experiences ensures multiple perspectives on the challenges and opportunities associated with the use of intelligent traffic signals in Brazil.

TECHNOLOGY–EDUCATION INTEGRATION: CENTRAL FINDING

The results highlight that the educational preparation of the population is a decisive factor for the successful implementation of intelligent traffic signal systems in the Brazilian context. As noted by the municipal manager, “the greatest challenge in making urban mobility safer and more efficient lies in human behavior,” corroborating the behavioral theories presented in the theoretical framework. This perception aligns directly with the Technology Acceptance Model (TAM) and the Theory of Planned Behavior, suggesting that behavioral resistance may undermine even the most advanced technical solutions.

Considering this reality, the international specialist emphasizes the need for effective community communication, particularly concerning issues of privacy and security. The collected evidence converges on the understanding that “the use of intelligent management should not only encompass structural pillars but, above all, human aspects,” as stressed by the municipal manager. This perspective represents a significant contribution to the academic debate, transcending the technical approach that prevails in international literature.

THREE-PHASE IMPLEMENTATION MODEL

The data reveal a consistent phased implementation model, validated by the three specialists from different perspectives. The international specialist proposes a tripartite structure: proof of concept, iterative optimization, and large-scale expansion. This approach is corroborated by the practical experience of the metropolitan manager, whose system was implemented in a sector-based manner, “so as not to impact only one region during construction while still providing benefits, even if localized, across the entire city.”

Thus, the convergence of international theory and national practice suggests that gradual implementation is not merely a risk-mitigation strategy but a fundamental requirement for adapting to local specificities. The metropolitan manager reported measurable improvements even under partial implementation: “improvements were observed in the synchronization of signalized intersections, reduction of cycles, and consequently shorter waiting times.” Such empirical evidence validates the feasibility of the proposed phased model, demonstrating that tangible benefits can be achieved prior to full project completion.

EVIDENCE OF SUCCESS AND ADAPTABILITY

The collected evidence demonstrates that adaptive systems already operational in Brazil deliver concrete and measurable results. The public–private partnership model observed in a major Brazilian metropolis—bringing together a private concessionaire, a regulatory agency, and a municipal technical authority—constitutes a viable institutional arrangement to overcome the identified budgetary constraints. At the same time, the SCATS (Sydney Coordinated Adaptive

Traffic System) implementation illustrates adaptability to complex urban contexts, processing demand variations in real time through strategically positioned detectors.

The specialists also converge in identifying multidimensional benefits. The metropolitan manager emphasizes that “the set of small variations in green time applied at each modernized intersection operating adaptively positively impacts the time people lose in their commutes, improving quality of life and social relations in general.” This broader view, extending beyond technical metrics, aligns with the municipal manager’s social concerns regarding equity and urban accessibility.

Considering these findings, security emerges as a cross-cutting concern. The international specialist warns that systems in urban environments face unique threats, ranging from vandalism to sophisticated cyberattacks. From this perspective, the recommendation to establish an independent review and governance committee and to adopt established practices from organizations such as Google (for image privacy) and red-teaming methodologies (for vulnerability testing) provides a practical roadmap for mitigating these risks in the Brazilian context.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS FOR BRAZILIAN IMPLEMENTATION

Considering the findings, clear guidelines emerge for successful implementation in Brazilian municipalities. The collected data corroborate the need for a multifaceted approach that integrates: (i) prior educational preparation of the population, grounded in validated behavioral theories; (ii) phased implementation with incremental validation of benefits; (iii) flexible institutional arrangements, such as public–private partnerships; and (iv) robust security protocols adapted to the local context.

Consequently, municipalities of varied sizes can adapt these guidelines to their specific circumstances. For medium-sized cities, municipal managers suggest an initial focus on “physical roadway limitations,” “institutional limitations” related to investment and maintenance capacity, and “social/behavioral limitations” associated with regulatory compliance. This categorization provides a practical framework for preliminary feasibility assessments.

As demonstrated by specialists, ongoing Brazilian experience already provides encouraging evidence. Partial success observed in a major metropolis, with documented benefits even before full project completion, suggests that other municipalities may initiate pilot implementations with

realistic expectations of return. Thus, the combination of national empirical evidence and international best practices establishes a solid foundation for expanding this technology across Brazil.

Considering this evidence, it is noteworthy that Bill 3048/24 establishes a five-year time limit for implementation in municipalities with populations exceeding 150,000. The results of this investigation suggest that, while challenging, this timeline is feasible through the adoption of the identified strategies: early educational preparation, phased implementation, innovative institutional partnerships, and appropriate security protocols. The convergence of legal requirements and technical feasibility indicates a favorable moment for transforming urban mobility in Brazil by integrating technology with human behavior.

CONCLUSION

The analysis demonstrated that implementing intelligent traffic lights in Brazil holds significant potential to optimize urban mobility, reduce environmental impacts, and enhance road safety. This study investigated how artificial intelligence applied to mobility could mitigate challenges stemming from urban growth, thereby achieving the objective of understanding the opportunities and limitations of this technology within the national context.

The results showed that, although international experiences reported substantial gains in efficiency and sustainability, translating these outcomes to the Brazilian context required adaptations related to budgetary constraints, cultural differences in traffic behavior, and infrastructure heterogeneity. Furthermore, the integration of technical and human factors proved to be an essential condition for successful implementation.

These findings align with the reviewed literature, which already highlighted the relevance of behavioral and institutional factors in adopting emerging mobility technologies. In this regard, the collected evidence corroborates scholars who emphasize the importance of a multidimensional approach that encompasses not only technological infrastructure but also governance and social engagement.

As a limitation, the study acknowledges its exploratory nature and the restricted number of consulted specialists, which precluded broader generalizations. Nevertheless, the research contributes by offering initial insights for public policies and management practices, such as

recommending gradual implementation, investing in education, and leveraging public–private partnerships.

Finally, future research is encouraged to expand the sample of specialists, incorporate quantitative studies, and conduct case analyses in different Brazilian cities, thereby validating and deepening the findings presented in this work.

REFERENCES

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 3048, de 2024. Institui a Política Nacional de Implementação de Semáforos Inteligentes e define diretrizes para a adoção da tecnologia em cidades com mais de 150 mil habitantes. Author: Clodoaldo Magalhães (PV-PE). Brasília: Câmara dos Deputados, Aug. 6, 2024. Available at: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2450926>. Accessed on: Aug. 30, 2025.

CAI, C.; WEI, M. Adaptive urban traffic signal control based on enhanced deep reinforcement learning. *Scientific Reports*, v. 14, n. 14116, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64885-w>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Missão Japão: como a revolução das IAs generativas pode afetar o setor transportador. Brasília: CNT, 2025. Available at: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/missao-japo-como-a-revoluo-das-ias-generativas-pode-afetar-o-setor-transportador>. Accessed on: Aug. 22, 2025.

DAMADAM, S. *et al.* An Intelligent IoT Based Traffic Light Management System: Deep Reinforcement Learning. *Smart Cities*, v. 5, n. 4, p. 1293–1311, Sept. 27, 2022. Available at: <https://www.mdpi.com/2624-6511/5/4/66>. Accessed on: Aug. 22, 2025.

EXCHANGE RATES UK. US Dollar to Japanese Yen History. London: Exchange Rates UK, 2022. Available at: <https://www.exchangerates.org.uk/USD-JPY-spot-exchange-rates-history-2022.html>. Accessed on: Aug. 28, 2025.

JUNIPER RESEARCH. Smart Traffic Management Systems to Save 205 Million Metric Tons of CO2 by 2027. Hampshire, May 16, 2022. Available at: <https://www.juniperresearch.com/press/smart-traffic-management-systems-to-save-205-million-metric-tons-of-co2-by-2027/>. Accessed on: Aug. 30, 2025.

JUNIPER RESEARCH. Smart Traffic Management to Significantly Reduce Congestion and Emissions. Hampshire, Feb. 22, 2021. Available at: <https://www.juniperresearch.com/press/smart-traffic-management-to-significantly-reduce/>. Accessed on: Aug. 30, 2025.

LÖSCH, S.; RAMBO, C. A.; FERREIRA, J. L. Exploratory research in the qualitative approach to education. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, Araraquara, v. 18, n. 00, p. e023141, 2023. DOI: 10.21723/riaee.v18i00.17958. Available at: <https://periodicos.fclar.unesp.br/iberoamericana/article/view/17958>. Accessed on: Sept. 11, 2025.

NORIMONO NEWS. Japão começa a testar “semáforos inteligentes” para melhorar fluxo de veículos. Available at: <https://alternativa.co.jp/noticias/japao/96270/japao-comeca-a-testar-semaforos-inteligentes-para-melhorar-fluxo-de-veiculos>. Accessed on: Aug. 22, 2025.

SMART CITIES DIVE. This AI traffic system in Pittsburgh has reduced travel time by 25%. Smart Cities Dive, July 20, 2017. Available at: <https://www.smartcitiesdive.com/news/this-ai-traffic-system-in-pittsburgh-has-reduced-travel-time-by-25/447494>. Accessed on: Aug. 30, 2025.

WIEDER, A. Você sabe quanto tempo perde no trânsito? Resultado de estudo preocupa. Available at: <https://garagem360.com.br/voce-sabe-quanto-tempo-perde-no-transito-resultado-de-estudo-e-preocupante>. Accessed on: Aug. 22, 2025.

WU, K. *et al.* Big-data empowered traffic signal control could reduce urban carbon emission. *Nature Communications*, v. 16, n. 2013, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56701-4>