

Sistema Integrado Conecta Canaã: Uma Solução de Arquitetura para Mitigação de Dificuldades de Urbanização Emergente

Pedro Bacelar¹, Gustavo Broechl¹, Marcela Sousa¹, Hugo Kuribayashi¹,
Nandamudi Vijaykumar², Carlos Renato Francês³

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa) - Marabá, PA - Brasil

²COPDT - Coordenação de Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos, SP - Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém, PA - Brasil

{pedrobacelar, gustavo.broechl, marcela.alves, hugo}@unifesspa.edu.br

vijay.nl@inpe.br, rfrances@ufpa.br

Abstract. *Rapid growth of the urban population, particularly in cities in emerging countries, poses significant challenges for urban management and the provision of public services. This work proposes an integrated management architecture that supports Internet of Things (IoT) technologies and aims to enhance communication between citizens and municipal authorities. The implementation of the architecture has demonstrated a promising acceptance rate among the departments of the Anonymous-Municipality, resulting in a consistent flow of daily registrations and service responses within the system.*

Resumo. *O crescimento acelerado da população urbana, especialmente em cidades de países emergentes, apresenta desafios significativos para a gestão urbana e a oferta de serviços públicos. Este trabalho propõe uma arquitetura integrada de gestão, que possui suporte a tecnologias de Internet of Things (IoT) e visa aprimorar a comunicação entre cidadãos e o poder público municipal. A implementação da arquitetura apresenta promissora taxa de aceitação pelas secretarias do Município de Canaã dos Carajás-PA, com um fluxo de registros e atendimentos diários no sistema.*

1. Introdução

O processo de urbanização configura-se como um fenômeno de grande relevância e representa um dos desafios centrais para a governança urbana, especialmente no que tange à promoção do desenvolvimento sustentável e à melhoria da qualidade de vida nas cidades em todo o mundo. De acordo com as projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), até o ano de 2050, 68% da população mundial vai residir em regiões urbanas, contrastando com os levantamentos de 2022 onde essa taxa era de 57% [UN Conference on Trade and Development 2023]. Essa transição tem sido ainda mais acentuada em países emergentes durante a última década. O Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta que em 2022 no Brasil, essa taxa era de 87%, um

aumento de 30% desde 2010, que equivale à uma migração de 16,6 milhões de pessoas para núcleos urbanos [IBGE 2010a, IBGE 2022b].

Núcleos urbanos atuam como centros de desenvolvimento econômico, criando oportunidades de emprego e educação, o que impulsiona e intensifica o êxodo rural. Por outro lado, o rápido crescimento populacional representa um desafio para a oferta adequada de serviços e infraestrutura, que são processos contínuos fundamentais na governança do desenvolvimento urbano, ressaltando as dificuldades em gerar e distribuir os benefícios trazidos pela urbanização [MDR 2021]. Neste contexto, pequenas e médias cidades têm registrado um aumento populacional significativo na última década, resultando em um processo de urbanização acelerada [IBGE 2022a].

Em particular, no município de Canaã dos Carajás-PA, esse fator de crescimento tem sido particularmente amplificado. O município registrou um expressivo aumento populacional, de 26.716 habitantes em 2010 para 77.079 em 2022 (representando um aumento de 188,73% e uma taxa de crescimento anual de 9,67%) [IBGE 2010b]. Por outro lado, Canaã dos Carajás, apesar de representar um caso eminente de aumento populacional, ainda se encontra abaixo da faixa dos 100 mil habitantes. No entanto, a infraestrutura municipal não necessariamente cresceu na mesma proporção, o que leva a desafios diversos, incluindo a oferta de serviços públicos, a potencial saturação das redes de transporte e de saúde, ou o quantitativo reduzido de servidores públicos, que dificulta o atendimento de necessidades emergentes da população.

Este cenário é oportuno para a aplicação de práticas que mitiguem os efeitos negativos deste processo de urbanização acelerada. Assim, torna-se urgente e oportuna, a implementação de soluções tecnológicas que promovam a eficiência e a transparência na gestão urbana. Neste contexto, soluções de cidades inteligentes atuam como agentes mitigadores que ajudam a reduzir o desbalanceamento na oferta de infraestrutura de qualidade em diferentes setores urbanos, auxiliando a oferta de serviços públicos e criando novas vias de comunicação entre cidadão e o poder público [Salman and Hasar 2023]. Por outro lado, tais soluções de cidades inteligentes demandam o projeto e implementação de arquiteturas de software adaptadas às soluções e desafios enfrentados pela cidade.

A implementação de uma arquitetura de software adequada é essencial para otimizar a gestão urbana e aprimorar a comunicação entre cidadãos e gestores públicos. Esta arquitetura deve permitir a integração efetiva de dispositivos diversos, que são utilizados para monitorar em tempo real as condições da infraestrutura urbana, além de promover a redução de intervenções manuais, agilizando o fluxo de informações no município. Entretanto, soluções baseadas em software para cidades inteligentes ainda enfrentam desafios, como a gestão de dados heterogêneos provenientes da cidade e a utilização eficiente de técnicas de Inteligência Artificial (IA) para automação e gerenciamento. Além disso, estas soluções devem ser capazes de suportar evolução tecnológica, garantindo que a arquitetura possa se adaptar às novas demandas e tecnologias [Pereira and Brayner 2023].

Desta forma, alinhado à Meta 11 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)¹, que tem o objetivo de promover a urbanização inclusiva e sustentável, este trabalho apresenta uma arquitetura de sistemas de software integrados baseados no conceito de cidades inteligentes para o município de Canaã dos Carajás, na região Norte do Brasil.

¹Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>

A solução proposta busca aprimorar o atendimento de serviços ofertados pela Prefeitura Municipal de Canaã dos Carajás (PMCC), com foco no cumprimento do Código de Posturas de Canaã dos Carajás (CPCC) (Lei Municipal n. 694/2015),², além de centralizar a comunicação entre cidadãos e administração pública e complementar os canais tradicionais de atendimento.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, a Seção 3 descreve os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, enquanto a Seção 4 apresenta um detalhamento da solução oferecida. Além disso, a Seção 5 apresenta uma discussão dos resultados e a Seção 6 encerra este trabalho com as principais conclusões e desdobramentos de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A adoção de soluções tecnológicas na otimização de processos administrativos é essencial para provedores de serviços, pois possibilita a ampliação do alcance da distribuição, a melhoria dos resultados e a redução do tempo de execução de procedimentos. Para que esses benefícios sejam efetivos, é fundamental que as soluções sejam modeladas em conformidade com as atividades já estabelecidas na organização ou entidade. Nesse contexto, esta seção apresenta uma revisão da literatura, analisando os impactos e resultados da implementação dessas tecnologias nos processos administrativos.

Em [Levina et al. 2024], os autores retratam a modelagem de uma arquitetura inteligente baseada em soluções tecnológicas aplicadas a um ambiente hospitalar a partir de uma análise dos seus processos. Entre as soluções oferecidas, o hospital inteligente conceptualizado propõe enfermarias inteligentes integradas com dispositivos IoT e tecnologias vestíveis, permitindo monitoramento em tempo real das condições de saúde de seus pacientes. A modelagem da solução tem o potencial de reduzir os custos de implementação e ampliar a flexibilidade e resultados dos procedimentos realizados.

O estudo [Tricomi et al. 2024] busca mitigar o problema de mobilidade urbana a partir de uma mudança na abordagem de implementação de soluções de infraestrutura de cidades inteligentes, utilizando uma combinação de dispositivos em sua arquitetura, ao invés de focar em um objeto central da solução. O trabalho propõe uma modelagem de *design* e arquitetura de sistema, que utiliza uma combinação de implementações de dispositivos de *Internet of Things* (IoT) como veículos inteligentes e dispositivos móveis, em prol de fatores como reforço de políticas de mobilidade, segurança e redução de poluição.

Em [Carreiro et al. 2022], os autores propõem uma arquitetura baseada em tecnologias da indústria 4.0, aplicadas ao cálculo de consumo de energia de residências no município de Curitiba. A solução proposta utiliza ferramentas de IoT para analisar, armazenar e oferecer uma consulta remota do consumo em tempo real. A arquitetura integra sensores, dashboards e armazenamento em nuvem (Docker/Google Cloud), possibilitando uma gestão energética remota e em tempo real, auxiliando na tomada de decisão de seus usuários.

Em [Coulibaly et al. 2021], os autores propõem uma arquitetura que tem o objetivo de manusear e coletar as informações de equipamentos fixos e estrangeiros em estacionamento. A solução piloto baseada em dois agentes oferece recursos para usuários

²Disponível em: <https://transparencia.transparenciacanaa.com.br/arquivos/Lei-694-2015.pdf>

clientes e gestores tomarem decisões com uma plataforma que integra grande parte dos dados envolvidos no processo estudado.

A revisão mostra que soluções urbanas exigem estudo prévio e modelagem específica a suas adversidades, adaptando-se à realidade local, visto que as suas aplicações são focadas em melhorar a qualidade de atividades preexistentes. Observa-se uma tendência por soluções que apoiem a tomada de decisão por meio de dados transparentes. Essa abordagem metodológica se torna oportuna para o contexto introduzido, uma vez que os casos de aplicação apresentados se assemelham ao estudo de caso proposto neste trabalho.

3. Análise da Área de Negócio

Canaã dos Carajás, localizada no sudeste do Pará, Brasil. Com uma área total de aproximadamente 3.146,749 km², sua economia é fortemente vinculada à extração mineral, especialmente de níquel e ferro. O município se destaca por possuir o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, registrado em R\$ 34,99 bilhões no ano de 2021. Ademais, apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,673, refletindo um crescimento de 47,59% entre 1991 e 2010, evidenciando avanços significativos em áreas como educação, saúde e renda [IBGE 2010a].

A estrutura organizacional da PMCC segue uma hierarquia administrativa que engloba diversos setores responsáveis tanto pela gestão do município quanto pela execução das políticas públicas. Atualmente, a administração conta com 8 (oito) secretarias, cada uma desempenhando funções específicas para atender às demandas da população e garantir o funcionamento dos serviços municipais. As secretarias são responsáveis por áreas estratégicas como educação, saúde, obras, finanças, ouvidoria, entre outros, oferecendo serviços como, reparo de buracos na via, iluminação pública, bueiros e drenagens, manutenção da acessibilidade, parques e praças, além de recebimento de denúncias, reclamações, críticas, comentários e pedidos de informação sobre atos considerados ilegais, ou contrários ao interesse público.

No âmbito da gestão urbana municipal, o CPCC estabelece um conjunto de normas, que visa garantir a ordem pública e a qualidade de vida da população de Canaã dos Carajás. Essa legislação abrange aspectos da infraestrutura urbana, limpeza pública, uso do solo e fiscalização de atividades comerciais e residenciais. No processo de gestão, a PMCC envolve dois tipos de entidades para a distribuição e controle da qualidade dos serviços: as secretarias, no papel de executoras ou fiscalizadoras, e os cidadãos. O processo tradicional de gerenciamento de solicitações de serviços públicos inicia-se com a identificação de problemas relatados por cidadãos, comunicados às secretarias executoras, como a Secretaria Municipal de Obras (SEMOB), por meio de três canais distintos: aplicativos de mensagens instantâneas, chamadas telefônicas e atendimento presencial. Essas solicitações são registradas em planilhas eletrônicas para acompanhamento e resolução. Em casos de insatisfação, a secretaria fiscalizadora (Ouvidoria), recebe denúncias exclusivamente por dispositivos móveis, sem interação direta com as atividades em andamento, limitando a capacidade de acompanhamento e resolução eficiente das demandas.

Mediante isso, de acordo com o levantamento de informações a partir dos gestores públicos, o processo tradicional de gerenciamento de solicitações de serviços públicos revela os seguintes problemas: *i*) **Comunicação com o Cidadão:** muitos cidadãos des-

reportar problemas por meio de um aplicativo móvel. As informações coletadas, tanto pelos dispositivos IoT quanto pelos cidadãos, são encaminhadas às Secretarias responsáveis. Dependendo da natureza da demanda, esta pode ser direcionada para a Secretaria Fiscalizadora ou para a Secretaria Executora. Ao receber as solicitações, ambas as secretarias avaliam sua validade e determinam a necessidade de intervenção. Uma vez aprovada, a demanda é encaminhada à Secretaria Executora, onde ocorre a subdivisão de responsabilidades: o Controlador analisa a solicitação, delega tarefas e monitora a execução, enquanto o Executor realiza as ações em campo, como reparos e manutenções necessárias.

Durante o atendimento de uma demanda, pode surgir a necessidade de informações adicionais sobre o problema reportado. Nesses casos, a secretaria responsável pode entrar em contato diretamente com o cidadão por meio de um parecer formal, solicitando os esclarecimentos necessários para a adequada resolução da questão. Após a conclusão do serviço, o controlador tem a responsabilidade de homologar a solicitação, atestando que todas as etapas foram devidamente executadas e que o problema foi solucionado conforme os padrões estabelecidos. As informações referentes ao andamento e à conclusão do atendimento ficam disponíveis para os cidadãos, que têm a oportunidade de avaliar o serviço prestado por meio de um *feedback*. Neste caso, seja este positivo ou negativo, a informação é direcionada à secretaria executora ou fiscalizadora, que analisa as manifestações e toma medidas necessárias em conformidade com o CPCC.

4.2. Arquitetura Proposta

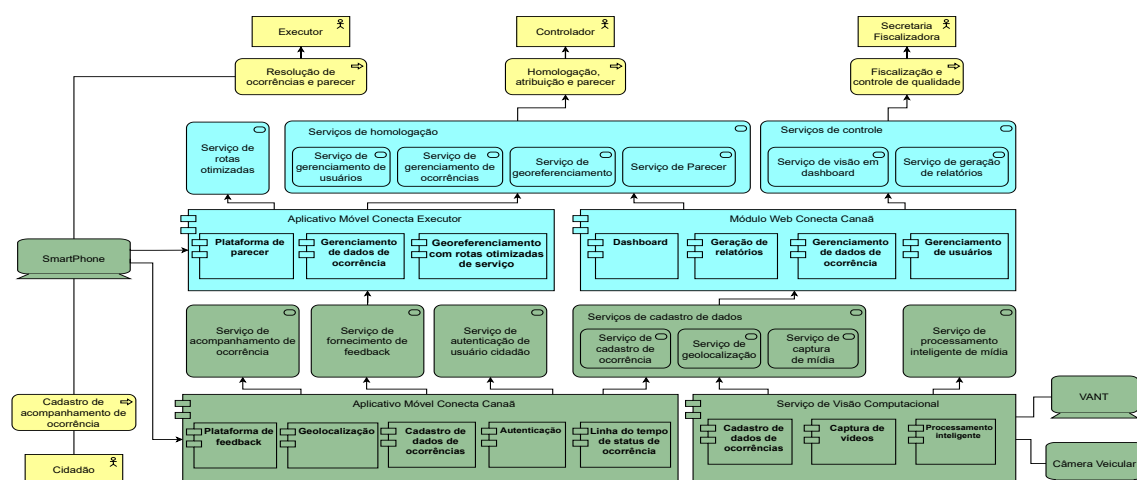


Figura 2. Arquitetura do Sistema Integrado Conecta Canaã (SICC).

A Figura 2 apresenta a arquitetura do SICC³ uma Arquitetura em Nível de Solução (ANS), que refere-se ao design estrutural do sistema, englobando a definição de seus componentes, estratégia de integração e a manutenibilidade do sistema. Seu objetivo é garantir que os diferentes elementos da solução trabalhem de forma coesa, atendendo aos requisitos do projeto. A definição dos componentes envolve a identificação das principais unidades do sistema, suas responsabilidades e a forma como interagem.

O SICC é composto por 4 (quatro) módulos: *i*) Aplicativo móvel para cadastro de solicitações de serviço por cidadãos do município; *ii*) Serviço Automatizado de Registro de OcorrênciasS (SARO) para identificação automática de problemas com VANTs e

³Disponível em: <https://conecta.smartcitycanaadoscarajas.com.br/>

câmeras veiculares; *iii*) Módulo web para gestão das secretarias municipais; e *iv*) Aplicativo móvel baseado em georreferenciamento para auxílio na navegação das secretarias executoras a partir de uma rota otimizada de atendimento. As seções seguintes oferecem um detalhamento das diferentes características e decisões que compõem a SA proposta.

4.2.1. Decisões de Arquitetura

Essa seção detalha as decisões arquiteturais adotadas na SA proposta. O SICC foi desenvolvido com base em um Estilo de Arquitetura Baseada em Serviços (EABS) [Richards et al. 2021], estruturado em diversos módulos, cada um responsável por uma regra de negócio distinta. Esses módulos, embora independentes, compartilham funcionalidades comuns, promovendo a reutilização de serviços, conforme mostra a Figura 2. A adoção de um EABS permite que serviços sejam reutilizados por diferentes aplicações devido à sua granularidade, interoperabilidade e abstração. Por exemplo, o módulo web destinado ao uso das secretarias fiscalizadoras ou executoras, no papel de executor ou controlador, utilizam o serviço de georreferenciamento para exibir a distribuição de serviços demandados pelos cidadãos e dispositivos IoT do município. Simultaneamente, o módulo móvel destinado ao uso das secretarias executoras, no papel de executor, emprega o mesmo serviço para traçar as rotas otimizadas para atendimento das Ocorrências.

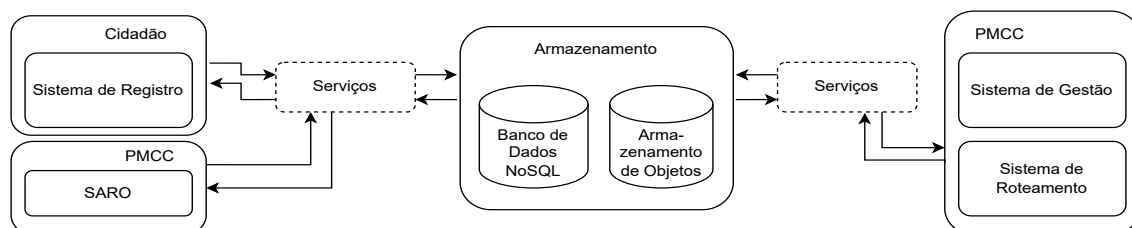


Figura 3. Compartilhamento de dados entre os módulos e o armazenamento.

A Figura 3 ilustra o compartilhamento de dados entre os módulos do SICC e o armazenamento correspondente. A opção por um banco de dados *NoSQL* foi motivada pela integração de dispositivos de IoT nas operações do sistema. Estes são projetados para processar volumes massivos de dados não estruturados ou semiestruturados, provenientes de fontes variadas, como sensores inteligentes e dispositivos IoT. Além disso, essa abordagem facilita a escalabilidade horizontal, permitindo a adição de servidores para distribuir a carga de trabalho à medida que novas soluções de IoT são incorporadas por outras equipes envolvidas no projeto. Dado o contexto de negócio do SICC, essa flexibilidade é essencial para integrar e processar eficientemente dados de múltiplas fontes.

4.2.2. Coleta de Dados e Segurança

O processo de coleta de dados oferecido pelo serviço de cadastro de ocorrências se utiliza de uma entidade que agrega o conjunto de informações necessárias para descrever um problema de infraestrutura identificado (Ocorrência). Esta consiste na identificação da secretaria responsável, com destaque para a área e o serviço oferecido pela secretaria; Informações geográficas (latitude e longitude); Descrição textual do endereço do

problema; E por fim, um registro visual da solicitação por meio de fotos ou vídeos. Adicionalmente, existem campos relacionados aos usuários Executores responsáveis pela sua resolução e os diferentes *status* que ela pode assumir durante o seu ciclo de vida, como Novo, Em análise, Em execução, Indeferido, entre outros.

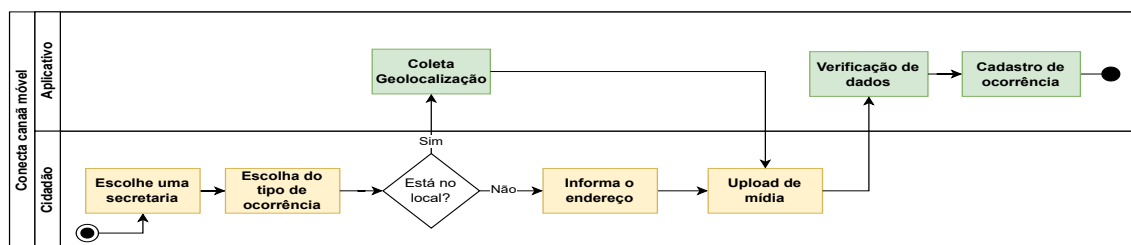


Figura 4. Processo de cadastro de uma ocorrência.

Os serviços de cadastro consumidos pelo aplicativo móvel do cidadão seguem o fluxo de fornecimento de dados apresentado pela Figura 4 de forma assíncrona. Adicionalmente, são coletadas informações sobre o dispositivo e o sistema operacional utilizado, enquanto dados pessoais são coletados do perfil logado no aplicativo, com a opção de um relato anônimo que os omite. Em se tratando de um gerenciamento de informações sensíveis de cidadãos, três abordagens são tomadas na solução: *i*) O uso de um algoritmo de criptografia dos dados armazenados, oferecendo privacidade em qualquer caso de acesso. *ii*) Mecanismo de autenticação por portador de *Token* de acesso, atuando sobre as rotas de serviço do sistema, garantindo o acesso apenas para perfis específicos autenticados. *iii*) Redundância do banco de dados, estratégia responsável pela preservação das informações coletadas em caso inoportuno de falha no armazenamento principal.

4.2.3. Estratégia de Integração

A estratégia de integração adotada na SA busca garantir a interoperabilidade entre seus diversos módulos, promovendo um fluxo eficiente de informações entre cidadãos, gestores públicos e executores de serviços urbanos. Para isso, a solução faz uso de uma *Application Programming Interface* (API) centralizada, baseada em *Representational State Transfer* (REST), responsável por intermediar a comunicação entre os aplicativos móveis, o módulo web e os dispositivos de SARO, assegurando que os dados sejam transmitidos de forma estruturada e padronizada.

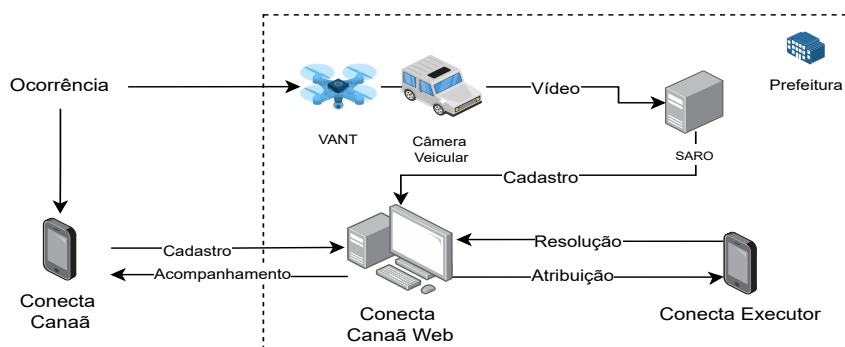


Figura 5. Intercomunicação entre os módulos do SICC.

A Figura 5 apresenta a forma de comunicação do SICC. *Smartphones* se apresentam como plataforma promissora para atuar como ponte de acesso por um cidadão, justificado pela sua disponibilidade e ampla adoção de uso. Como ferramentas de IoT, contam com a capacidade de registro de mídia e geolocalização, dados essenciais para o registro de uma ocorrência. Da mesma maneira, os dispositivos VANT e as câmeras acopladas a veículos da PMCC, apesar da menor disponibilidade, conseguem suprir uma grande demanda de entrada de dados no sistema, percorrendo a cidade registrando imagens que retratam condições diversas da infraestrutura urbana, como despejo de resíduos em locais inapropriados, por exemplo. Dados que são processados pelo SARO para realizar a submissão de uma solicitação.

Os dados de ocorrências são então exibidos no sistema web de gestão, onde os usuários podem homologar as informações de relatos e repassá-las para secretários executores que irão resolver o problema. O aplicativo móvel Conecta Executor exibe uma lista de ocorrências atribuídas a um usuário logado, exibindo elas de maneira a otimizar as rotas de percurso, reduzindo o tempo de atendimento e os gastos de recursos públicos. Essa disposição das comunicações entre os módulos do sistema busca atender as necessidades levantadas pelo mapeamento dos processos.

4.3. Atributos de Qualidade

Existem uma série de aspectos definidos pela norma ISO/IEC 25010, que estabelecem diretrizes de qualidade de software, e são refletidos na solução proposta da seguinte maneira: *i) Adequação Funcional*, a arquitetura do SICC foi desenvolvida em colaboração direta com a PMCC, de maneira a implementar todos os casos de uso necessários para sua adoção; *ii) Eficiência de Desempenho*, o sistema implementa diversas funções assíncronas que garantem que as operações realizadas no sistema sejam independentes de outras execuções; *iii) Compatibilidade*, por ser estruturado como um sistema integrado, o SICC é capaz de gerenciar o fluxo de informações entre diferentes módulos e interagir com soluções de outras equipes de desenvolvimento no município, como as orientadas à saúde e educação; *iv) Capacidade de interação*, cada módulo da solução foi desenvolvido com o usuário final em mente, o aplicativo móvel do cidadão utiliza termos coloquiais tal qual “Obras” e “Buraco na via” para descrever secretarias e serviços que são apresentados com nomes técnicos no sistema de gestão web (*affordability*); *v) Confiança*, o SICC conta com estratégias de redundância de seus servidores de dados; *vi) Segurança*, a solução conta com recursos de autenticação por *Tokens*, criptografia de dados e opções de anonimato, extremamente necessários quando se trata de coleta de dados sensíveis; *vii) Manutenção* e *viii) Flexibilidade*, o aspecto de EABS permite que os diferentes serviços sejam abstratos e isolados o suficiente para facilitar a sua manutenção e adição de novas funcionalidades.

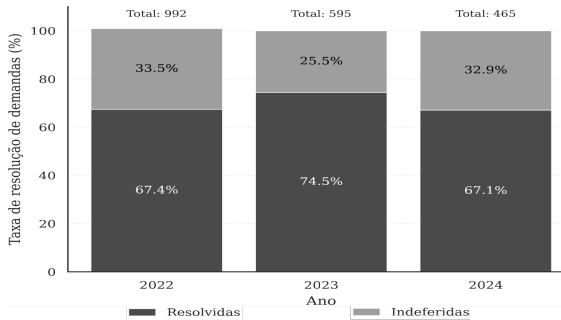
5. Resultados e Discussões

O SICC está implantado e em uso pelas secretarias da PMCC, especialmente por aquelas responsáveis pelo atendimento de Ocorrências do CPCC. O aplicativo móvel para cadastro e acompanhamento de Ocorrências pelos cidadãos do município está disponível nas plataformas de distribuição digital *App Store*⁴ e *Play Store*⁵, com mais de mil downloads

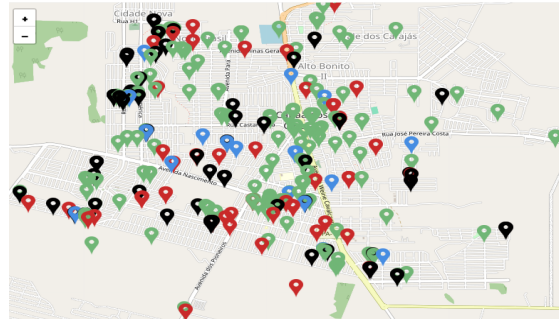
⁴Disponível em: <https://apps.apple.com/br/app/conecta-cana/id1596161476>

⁵Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.canectacanaa.app>

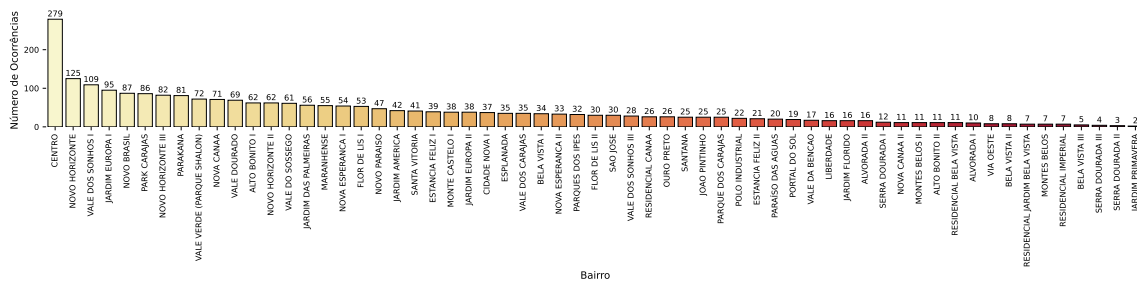
efetuados, enquanto o aplicativo móvel direcionado ao executor está em fase de desenvolvimento. Desde sua publicação em meados de 2022, o SICC contabilizou um total de 2.604 Ocorrências atendidas pelas secretarias do município de Canaã dos Carajás.



(a) Taxa de resolução de Ocorrências.



(b) Distribuição Geográfica de Ocorrências.



(c) Quantidade de Ocorrências por bairro.

Figura 6. Dados coletados a partir da utilização do SICC pela PMCC

A Figura 6a apresenta a quantidade total de Ocorrências registradas no SICC, bem como as taxas de resolução, categorizadas pelos status “resolvidas” e “indeferidas”, entre os anos de 2022 a 2024. O ano de 2022 destaca-se com o maior número de Ocorrências registradas em comparação aos anos subsequentes. Esse aumento inicial pode ser atribuído à novidade da implantação do SICC no município, aliada a estratégias de marketing e divulgação que incentivaram a população a utilizar a nova ferramenta para reportar problemas e solicitar serviços. Nos anos seguintes, 2023 e 2024, houve uma estabilização no número de Ocorrências, possivelmente indicando uma adaptação da comunidade ao sistema e uma normalização no fluxo de registros. As taxas de resolução refletem a eficiência das secretarias municipais no atendimento às solicitações, mantendo-se consistentemente acima de 65% ao longo dos anos com variações que podem estar relacionadas à complexidade das Ocorrências e à qualidade das informações fornecidas pelos cidadãos.

As Figuras 6b e 6c mostram, respectivamente, a distribuição geográfica das Ocorrências no município e a quantidade de Ocorrências por bairro. Na Figura 6b observa-se a formação de aglomerados de Ocorrências em determinadas áreas, o que facilita a tomada de decisões estratégicas e a otimização de recursos municipais por parte da PMCC. A identificação desses aglomerados permite o envio de equipes especializadas para regiões com maior concentração de solicitações, bem como o ajuste na composição das equipes, visando uma execução mais eficiente dos serviços públicos. Já na Figura 6c ao analisar os dados por bairro, verifica-se que o Centro registrou o maior número de Ocorrências devido concentrar estabelecimentos comerciais o que pode contribuir para o maior número de solicitações devido à maior atividade econômica e circulação de pes-

soas na região. Por outro lado, o bairro Serra Dourada II apresenta o menor número de solicitações de Ocorrências. Essa baixa incidência pode estar associada a menor densidade populacional, além do menor número de estabelecimentos comerciais nesse setor.

5.1. Impactos da Solução no Serviço Público

A fase de implantação do sistema proposto contou com diversas etapas de testes e validações por parte dos órgãos públicos envolvidos. A sua utilização teve início a partir do momento em que as secretarias confirmaram que as suas atividades estavam representadas no sistema, o que justifica em nível institucional, a migração para a nova ferramenta. A partir disso, diversos deslocamentos dos desenvolvedores para Canaã dos Carajás foram realizados, garantindo uma coleta de *feedback* e realização de atividades de capacitação eficientes. O que somado a disponibilização do sistema em um ambiente de desenvolvimento remoto, contribuíram para a efetivação da solução como componente dos processos da PMCC.

O registro automatizado de requisições de serviços públicos baseados em IoT, somado aos relatos provenientes da participação ativa do cidadão a partir do aplicativo móvel, permite um monitoramento em tempo real das condições do município. Assim, estabelece-se uma gestão orientada por dados que apoia a tomada de decisão na resolução de ocorrências. Esta abordagem considera as particularidades de urgência de cada situação, possibilitando um planejamento de equipes mais eficazes com base nas informações georreferenciais.

Neste contexto, também se destaca a possibilidade de representar geograficamente as solicitações atendidas, organizando-as por bairro. Essa abordagem proporciona às secretarias fiscalizadoras e executoras uma nova ferramenta para identificar áreas que demandam mais atendimento, permitindo que setores específicos recebam maior atenção dos dispositivos de IoT do SARO durante suas operações no município. Além disso, o fluxo de dados no sistema representa relatos de problemas no município, além de apresentarem informações sobre as atividades das secretarias de execução, oferecendo transparência aos cidadãos que realizaram tais solicitações. Ao mesmo tempo os serviços de *dashboard* e de geração de relatórios oferecem uma visão analítica para as secretarias fiscalizadoras, que junto com o *feedback* oferecido pelo cidadão, oferecem um reflexo da qualidade dos serviços oferecidos a população local.

6. Conclusão

A rápida urbanização e o significativo crescimento populacional vivenciados pelo Município-Anônimo exemplificam os desafios prementes enfrentados pelos governos locais na oferta de serviços públicos eficientes e transparentes. À medida que as áreas urbanas continuam a se expandir, a demanda por soluções eficazes para gerenciar esses desafios se intensifica. A fragmentação dos canais de comunicação e a falta de integração entre as secretarias contribuem para a ineficiência na resolução de reclamações, destacando a urgência de soluções tecnológicas que centralizem e otimizem o processo de recebimento e atendimento das demandas dos cidadãos.

Este trabalho apresenta o detalhamento de uma SA aplicada ao processo de recebimento, homologação, resolução e fiscalização de ocorrências pela PMCC. A solução apresenta uma nova via de canais de denúncia por meio de uma aplicação móvel destinada

ao cidadão, assim como a integração com soluções inovadoras de IA que buscam reduzir essa lacuna em zonas com taxas menores de reclamação. O sistema apresenta uma promissora aceitação e adaptabilidade entre as entidades da PMCC, proporcionando uma visão analítica das atividades e contribuindo para aumentar a visibilidade dos problemas de infraestrutura e a participação cidadã. Desta forma, SA tem o potencial contribuir no aprimoramento do tempo de resposta e da transparência das denúncias registradas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento e o apoio da Prefeitura Municipal de Canaã dos Carajás, fundamental para a realização deste trabalho.

Referências

- Carreiro, F. et al. (2022). Modelagem e Desenvolvimento de uma Solução de IoT e Gêmeo Digital para Medição de Consumo de Energia Residencial. In *Proceedings do XXIV Congresso Brasileiro de Automática*, Fortaleza - CE, Brasil.
- Coulibaly, M., Errami, A., Belkhala, S., and Medromi, H. (2021). A live smart parking demonstrator: Architecture, data flows, and deployment. *Energies*, 14(7).
- IBGE (2010a). IBGE Censo 2010 — [censo2010.ibge.gov.br. https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8](https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8).
- IBGE (2010b). IBGE Censo 2010 — [censo2010.ibge.gov.br. https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=15&dados=0](https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=15&dados=0).
- IBGE (2022a). IBGE Censo 2022 — [censo2022.ibge.gov.br. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/canaa-dos-carajas.html](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/canaa-dos-carajas.html).
- IBGE (2022b). Panorama do Censo 2022 — [censo2022.ibge.gov.br. https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html](https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html).
- Levina, A. et al. (2024). Towards a smart hospital: Smart infrastructure integration. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(3):100339.
- MDR (2021). *Carta Brasileira para Cidades Inteligentes*. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021 edition.
- Pereira, D. and Brayner, A. (2023). Ufcity: A software architecture to create data ecosystem in smart cities. In *2023 Symposium on Internet of Things (SIoT)*, pages 1–5.
- Richards, M., Lange, B., and Ford, N. (2021). *Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach*. Ascent Audio.
- Salman, M. Y. and Hasar, H. (2023). Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using iot techniques. *Sustainable Cities and Society*, 94:104567.
- Silver, B. (2011). *BPMN Method and Style: With BPMN Implementer's Guide*. Cody-Cassidy Press.
- Tricomi, G. et al. (2024). CV POp-CoRN: The (Smart) City-Vehicle Participatory-Opportunistic Cooperative Route Navigation System. *Ad Hoc Networks*, 164:103604.
- UN Conference on Trade and Development (2023). *UNCTAD Handbook of Statistics 2023*. United Nations, 2023 edition.