



USO DE SOLUÇÃO SISTEMATIZADA E COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO PLANEJAMENTO DE AÇÕES DE COMBATE A PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMENTO: ESTUDO DE CASO EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Fabrizio Silva Campos⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, atua como especialista técnico em SmartAcqua Soluções Tecnológicas e atualmente é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – PPG-SHS da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, Universidade de São Paulo – USP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro – São Carlos – São Paulo - CEP: 13566-590 - Caixa Postal 359- Brasil - Tel: +55 (16) 3373-9552- Fax: +55 (16) 3373-8269 - e-mail: fabrizio.campos@usp.br.

RESUMO

Os altos níveis de perdas de água no Brasil revelam a falta de eficiência operacional por parte das companhias de saneamento. Este cenário se agrava com a escassez hídrica que afeta diversas regiões e acende um alerta sobre a necessidade de tratativas. Sabe-se que o Novo Marco Legal do Saneamento estabelece metas progressivas de redução de perdas e pressiona companhias de saneamento a implementarem ações efetivas, sendo que essas ações passam pelo desenvolvimento tecnológico. Diante disso, propõe-se demonstrar como o uso de solução sistematizada, com inteligência artificial, é capaz de otimizar o espaço de busca e apontar regiões prioritárias para pesquisa de vazamentos não visíveis, de modo a economizar recursos materiais e humanos. Para isso foi estabelecido termo de cooperação técnica entre as empresas SmartAcqua, Canumã e CASAN que pode avaliar o status das perdas de água em Curitiba através de diagnóstico e planejamento otimizado do trabalho de pesquisa de vazamentos não visíveis que resultou na detecção de 4,70 vazamentos/Km pesquisado e índice linear bruto de perdas classificado como insatisfatório e preocupante. Assim, pode-se concluir que a metodologia proposta, através de ferramenta e processo, levou ao estabelecimento de um caminho efetivo de redução dos níveis perdas de água.

PALAVRAS-CHAVE: Software, Inovação, Desenvolvimento Tecnológico.

INTRODUÇÃO

As perdas de água são um grande desafio das companhias de saneamento em todo país, de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), ano base de 2020 – IN049, o Brasil perde 40,1% de toda água tratada durante sua distribuição (BRASIL, 2022). Um levantamento do instituto Trata Brasil (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022) revela que desde 2017 até 2020 o índice de perdas na distribuição cresceu 1,8%, evidenciando que o problema continua aumentando ano após ano. Entre os maiores agravantes estão a escassez de água em várias regiões e o envelhecimento da infraestrutura de produção e distribuição. Nesse sentido, a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020), de 15 de julho de 2020, conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento, através da Portaria nº 490 (BRASIL, 2021) estabelece metas progressivas de redução de perdas percentuais na distribuição ano a ano até 2033, além de redução também do índice de perdas por ligação, condicionando o financiamento federal ao atingimento dessas metas.

Combater as perdas de água não somente evita o desperdício como proporciona o atendimento a mais pessoas com acesso à água potável, reduz o impacto no ambiente e preserva os mananciais, além da economia de eletricidade e produtos químicos. Diante deste cenário, as companhias de saneamento tendem a dedicar seus esforços em busca de maior eficiência operacional, e para isso devem contar com ferramentas tecnológicas que auxiliem o processo de tomada de decisão. A inteligência artificial contribui nesse sentido, na medida em que permite identificar de forma sistemática e constante onde e por que essas perdas ocorrem, possibilitando otimizar o trabalho das equipes em campo, ao mesmo tempo em que permite às empresas de saneamento reduzir custos operacionais e utilizar melhor seus recursos financeiros e materiais, resultando num atendimento mais eficiente à população.

O objetivo deste trabalho técnico é demonstrar como o uso de inteligência artificial e ferramentas de otimização pode ser aplicado no planejamento de ações de combate às perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento. O enfoque do estudo se dará sobre a problemática da dificuldade das companhias em realizar uma organização logística que opere de forma proativa na pesquisa de vazamentos não visíveis. Assim, serão descritas todas as etapas do fluxo de trabalho que se inicia com o processamento de dados, passa pelo planejamento das ações e execução das tarefas em campo e termina com a avaliação de resultados.

O desenvolvimento do trabalho se deu por conta da parceria da empresa SmartAcqua Soluções Tecnológicas LTDA. (SMARTACQUA, 2022) com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN e apoio técnico da empresa Canumã. Foi firmado em março de 2021 um termo de cooperação técnica entre as empresas para realização de uma prova de conceito no sistema de abastecimento de água (SAA) de Curitiba (SC), o objeto desse termo de cooperação é a “avaliação de software para gerenciamento de perdas de água, a ser aplicado no SAA Curitiba, sendo este software disponibilizado pela empresa SmartAcqua”. Ao longo de sete meses, período de vigência do termo de cooperação, foram desenvolvidas diversas atividades, onde, de forma resumida, a equipe SmartAcqua ficou responsável pelo processamento de dados e planejamento dos trabalhos de campo, enquanto a empresa Canumã forneceu equipamento e equipe técnica para execução da pesquisa de vazamentos. Os profissionais da CASAN, por sua vez, foram responsáveis pelo fornecimento de dados, acompanhamento de todo o processo e avaliação de resultados, como forma de validação, resultando inclusive com a atestação da execução dos serviços e cumprimento dos prazos propostos por parte da empresa SmartAcqua.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção descreve as etapas de desenvolvimento metodológico do presente trabalho técnico, ao todo são 6 etapas (Figura 1). A divisão das etapas se dá em: Etapa 1 – Seleção e caracterização da área de estudo, onde são elencadas informações relevantes sobre o município escolhido e seu sistema de abastecimento; Etapa 2 – processamento de dados, que descreve a base de dados utilizada nesse estudo e como ela foi preparada; Etapa 3 – identificação, potencialização e georreferenciamento das perdas de água, busca-se elucidar a metodologia da solução de inteligência artificial que realiza o diagnóstico de perdas; Etapa 4 – otimização e organização da logística operacional, aborda a sistemática de tomada de decisão para o planejamento do trabalho de campo; Etapa 5 – execução do trabalho de campo, esta etapa possui foco na metodologia de pesquisa de vazamentos e na descrição dos materiais utilizados, bem como na atuação do pessoal de campo; Etapa 6 – avaliação de resultados, versa sobre o levantamento dos resultados encontrados em campo e define indicadores de sucesso do trabalho.

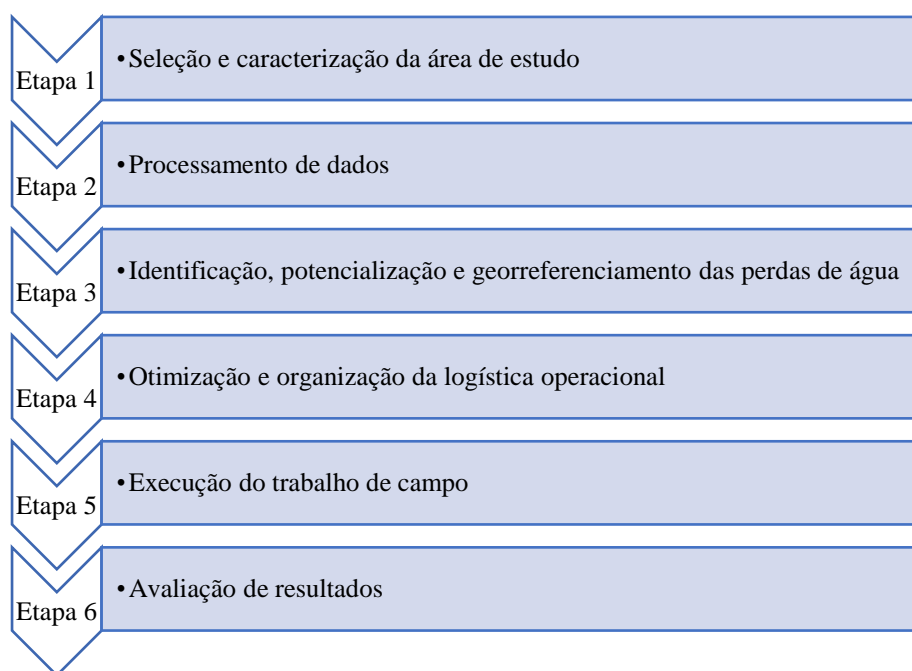


Figura 1 - Etapas metodológicas de desenvolvimento do trabalho técnico. Elaborado pelo autor.



ETAPA 1 – SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Sob responsabilidade da concessionária estadual CASAN, o sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Curitibaanos (SC) apresenta um dos maiores índices de perdas de água entre os municípios operados pela companhia. O valor do índice de perdas na distribuição (IPD) chegou a 43,7%, e a 304 litros por dia de perdas por ligação (IPL), de acordo com o SNIS ano base de 2020 (BRASIL, 2022). Por esta razão, a CASAN escolheu a cidade de Curitibaanos (SC) como local de aplicação da prova de conceitos firmada através de termo de cooperação técnica.

O município de Curitibaanos (SC), está localizado na região central do estado de Santa Catarina, pertencendo a bacia hidrográfica do Rio Canoas (Figura 2), a cidade possui uma população próxima a 40 mil habitantes, dos quais 92,11% em área urbana e 7,89% em área rural (IBGE, 2021). Para abastecer essa população, de acordo com SNIS 2020, o SAA de Curitibaanos dispõe de aproximadamente 11 mil ligações de água ativas, tendo como principal manancial o rio Marombas e abastecida por mais três poços, ao todo o município possui uma rede de distribuição de 197 km de extensão (BRASIL, 2022; LUNARDI NETO et al., 2020).

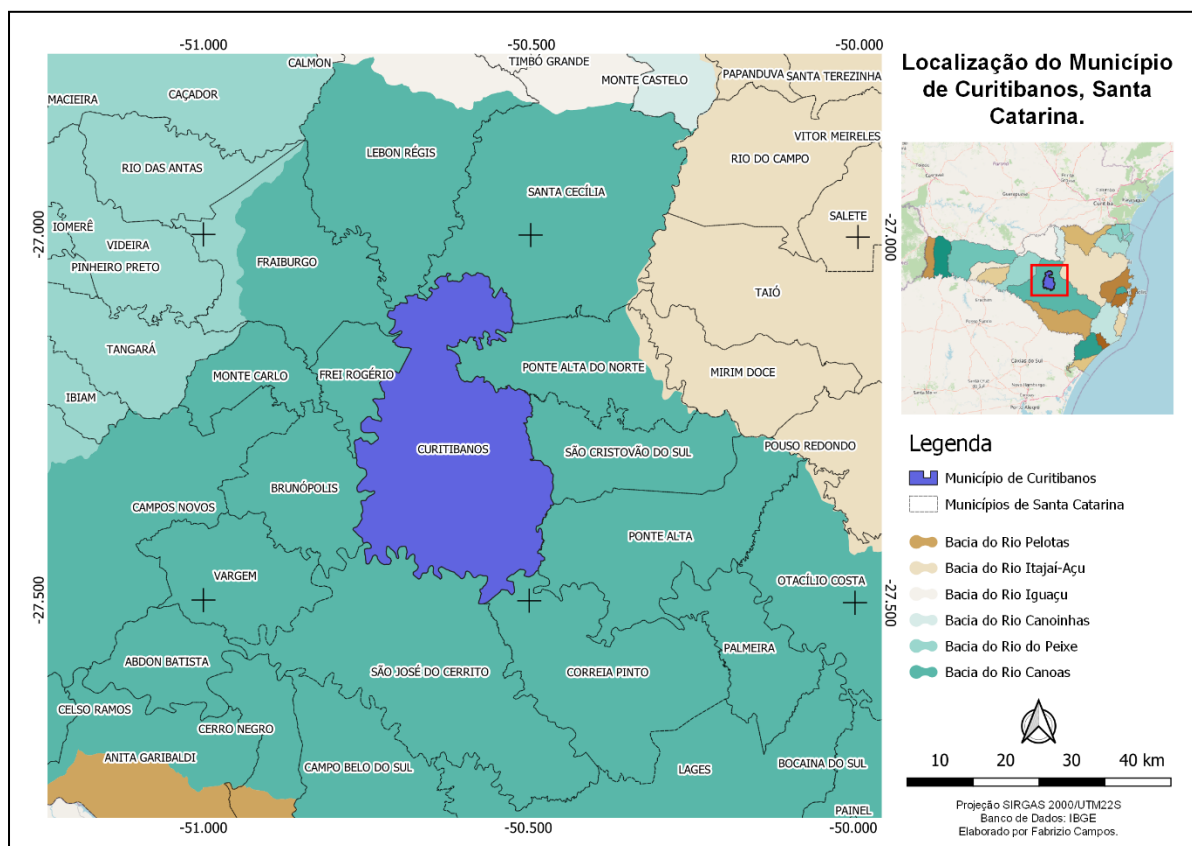


Figura 2 - Mapa de Localização do Município de Curitibaanos, SC. Elaborado pelo autor.

ETAPA 2 – PROCESSAMENTO DE DADOS

Como parte integrante do termo de cooperação estabelecido neste trabalho, a CASAN forneceu os dados necessários para realização do estudo. Se tratando de uma prova de conceito, os dados utilizados são estáticos e históricos, ou seja, não houve a realização de integrações de sistemas e retroalimentação de informações. Para realizar o processamento dos dados foi utilizada a Solução SmartAcqua, que tem como foco específico o combate e gestão das perdas de água utilizando-se operacionalmente de conceitos e algoritmos de inteligência artificial.

Os dados que alimentam a solução são, não se limitando a: dados comerciais, que compreende o cadastro de clientes com informações de matrícula, idade, número e fabricante do hidrômetro, endereço e setor, categoria, e

ciclos de consumo (últimos 24 meses); dados operacionais, volume de água produzido, custos de energia elétrica e produtos químicos, bem como cadastro técnico da rede; a ferramenta recebe também dados relacionados à política tarifária e suas respectivas categorias e faixas de consumo, dados demográficos e de censo e dados socioeconômicos.

Após recebimento dos dados é feito seu carregamento para um banco de dados na nuvem, para garantia da disponibilidade da solução e segurança dos dados da CASAN. A partir de uma base de conhecimento da própria Solução SmartAcqua, são traçados paralelos estatísticos para resolução de dados faltantes.

ETAPA 3 – IDENTIFICAÇÃO, POTENCIALIZAÇÃO E GEORREFERENCIAMENTO DAS PERDAS DE ÁGUA

As fases de identificação, potencialização e georreferenciamento das perdas de água estão contidas no diagnóstico e prognóstico da Solução SmartAcqua. A execução do balanço hídrico é um dos primeiros passos para o entendimento do cenário em que a cidade se encontra quanto às perdas de água, pois “é uma poderosa ferramenta de gestão, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais” (TARDELLI FILHO, 2006). Por definição, de acordo com a IWA (*International Water Association*) (ALEGRE et al., 2016), o balanço hídrico requer estimativas de volumes de água em diversos pontos de medição aplicados ao sistema sob consideração. Assim, é possível compreender melhor o comportamento do sistema a partir de suas entradas e saídas. De acordo com a metodologia proposta, após definição do volume de entrada no sistema, são contabilizados os volumes faturados e não faturados, medidos e não medidos, para se chegar aos volumes de perdas, sendo que se calcula primeiramente as perdas comerciais e por diferença sabe-se o volume de perdas físicas. Para Tardelli Filho (2006), as vantagens deste método compreendem:

- a possibilidade de aplicá-lo desde um setor de abastecimento (ou mesmo sistema de abastecimento global) até pequenos subsectores;
- os dados da macromedição e da micromedição são geralmente disponíveis nas companhias de saneamento, e;
- as hipóteses e estimativas requeridas na maior parte das vezes estão baseadas em estudos pré-existentes.

nestes pontos pautam-se as principais vantagens do uso da Solução SmartAcqua, uma vez que sua metodologia pode ser aplicada para os diversos níveis de subdivisão de um sistema, possui capacidade tecnológica de processamento de grandes volumes de dados (*big data analytics*) e seus algoritmos de inteligência artificial estão baseados em uma metodologia desenvolvida nos últimos 25 anos através de projetos de combate a perdas de água executados em dezenas de cidades.

Ao avaliar bases de dados de consumo e de produção de água, dados da cidade, política tarifária, custos operacionais, bem como dados demográficos, de censo e socioeconômicos, a Solução SmartAcqua calcula a relação “perfil x consumo” por cliente e identifica e potencializa as perdas comerciais de água. Dessa forma é possível diagnosticar o sistema por nível de consumidor, rua, bairro, setor/DMC (distrito de medição e controle) ou da cidade como um todo. Os potenciais de ganho são calculados em volume de água ($m^3/mês$) e em potencial financeiro ($R\$/mês$), por se levar em consideração a política tarifária e os custos operacionais do sistema. De posse das perdas comerciais, pode-se então calcular as perdas físicas, as quais a Solução SmartAcqua também potencializa por nível de rua, bairro, setor/DMC e cidade. Estes dados podem ser observados através do módulo de relatórios, na função “Painel de Controle da Cidade”, que é composto por um conjunto de informações que dão suporte ao planejamento estratégico de combate às perdas e água. Em suma, apresenta os resultados do balanço hídrico da cidade e conta com gráficos e tabelas que mostram as perdas comerciais e físicas, além do acompanhamento do histórico de níveis de perdas e tendências futuras.

Quanto ao georreferenciamento das perdas de água, a Solução SmartAcqua possui uma poderosa ferramenta de informação geográfica, com ela pode-se visualizar espacialmente as informações de perdas tanto físicas quanto comerciais. A ferramenta também possui a capacidade de integrar dados relacionados à estrutura física da rede, como material, diâmetro, idade e traçado de redes, localização de reservatórios, válvulas de manobras e demais singularidades. Podem ser plotados também zonas de abastecimento de reservatórios e/ou zonas de pressão, se disponibilizado pela companhia. Outros dados que podem ser incorporados aos mapas incluem variáveis de monitoramento, como pressão e vazão na rede. A arquitetura do sistema permite que dados de telemetria, acompanhados em tempo real, sejam integrados. No mapa de calor de perdas físicas os pontos no mapa estão



posicionados por ruas, e indicam o endereço da localidade e qual o volume em m³/mês de perdas naquele ponto. Há um código de cores, onde quanto mais vermelho é o círculo, maior o volume de perdas, e quanto mais azul, menor é o volume de perdas naquele endereço.

A análise do conjunto de ferramentas apresentados, planilhas, gráficos e mapas, são a base para se chegar a uma relação de áreas potenciais priorizadas, ou seja, consegue-se selecionar bairros, setores ou DMCs, com os maiores índices de perdas para receberem as ações de combate em campo. Sendo o próximo passo o processo de otimização da organização logística operacional da pesquisa de vazamentos não visíveis, onde se incluem mais variáveis de decisão.

ETAPA 4 – OTIMIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA LOGÍSTICA OPERACIONAL

Após identificação, potencialização e georreferenciamento das perdas de água da cidade e seleção dos bairros em que se realizará a pesquisa de vazamentos não visíveis, a Solução SmartAcqua fornece o “Diagnóstico de Perdas por Endereço”, um módulo que apresenta a relação de todos os endereços com seus respectivos valores potenciais de perdas físicas em volume (m³/mês), e respectiva extensão em metros. Neste ponto, está a problemática de selecionar endereços para organizar a logística de campo, uma vez que agora existem as limitações operacionais de equipamentos e equipes à disposição e tempo. Em um cenário ideal hipotético os recursos seriam ilimitados, as companhias de saneamento possuiriam recursos financeiros para contratar equipes com os melhores equipamentos, e realizar a pesquisa de vazamentos em toda a extensão da rede diversas vezes ao ano, mas essa não é a realidade.

O desafio então é buscar eficiência na realização dessa tarefa de campo, ou seja, recuperar o maior volume perdido que for possível diante de um cenário com limitações de recursos. Para o caso deste estudo, em que parcerias foram firmadas para execução do trabalho de campo no SAA de Curitiba, possuía-se apenas uma equipe especializada, com equipamentos adequados e um único dia para realização do trabalho. Desta forma, a principal limitação se deu pela produtividade da equipe, isto é, a extensão de rede máxima pesquisada por dia trabalhado.

Cenário posto, pode-se interpretar o problema da seguinte forma: deseja-se maximizar o volume potencial de perdas a ser recuperado através da seleção de endereços a serem visitados, sujeitos à restrição de extensão máxima percorrida pela equipe de pesquisa de vazamentos. Esse tipo de problema é considerado dentro do campo da pesquisa operacional como de programação inteira. Sua formulação está relacionada com o clássico “problema da mochila”, que recebe esse nome devido à analogia do problema que envolve a decisão de quais itens carregar em uma mochila sem exceder um dado limite de peso, de modo a maximizar uma função utilidade (ARENALES, 2011).

Entre os diversos tipos de “problema da mochila”, o caso apresentado se enquadra no tipo “Mochila 0-1” com formulação descrita por Arenales (2011) e adaptada a seguir. Considere uma lista de n endereços e uma produtividade da equipe limitada a uma extensão de b metros por dia trabalhado. O endereço j tem uma extensão a_j metros e um volume de perdas físicas p_j m³/mês. O problema consiste em selecionar os endereços da lista a serem visitados de forma a maximizar a recuperação de volumes perdidos sem ultrapassar o limite da extensão máxima que a equipe produz.

Defina as variáveis

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se o projeto } j \text{ for selecionado} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O problema é, então, formulado como:

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad \text{eq.1}$$

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b \quad \text{eq.2}$$

$$x \in B^n \quad \text{eq.3}$$

A função objetivo (eq. 1) expressa a maximização do volume de perdas físicas a serem recuperados, e a restrição (eq. 2) indica que a produtividade da equipe não pode exceder b metros. A restrição (eq. 3) representa o tipo das variáveis, que no caso devem ser binárias. Aplicando o modelo proposto à base de dados deste estudo, obtém-

se a relação de endereços a serem visitados durante a campanha de pesquisa de vazamentos, pertencentes aos bairros selecionados na Etapa 3.

ETAPA 5 – EXECUÇÃO DO TRABALHO DE CAMPO

Segundo Tardelli Filho (2006), o controle ativo dos vazamentos, “representa a ação sistemática desenvolvida no sentido de localizar os vazamentos não visíveis existentes, através de métodos acústicos de pesquisa, e repará-los” e que contrasta com o controle passivo, aquele em que a companhia de saneamento apenas realiza o reparo quando recebe algum chamado, geralmente da própria população, quando este vazamento já aflorou à superfície. A proposta deste trabalho técnico é realizar pesquisa ativa de vazamentos não visíveis, cujo princípio está em escutar o ruído do vazamento, e para isso existem diversos equipamentos, sendo que para este trabalho foram utilizados equipamentos da marca Sewerin®, distribuídos no Brasil pela empresa WaterGas®, nos modelos Aquaphon A200®, que se assemelha à uma haste de escuta, mas com princípios digitais e não mecânicos e Stethophon 04®, geofone eletrônico com diversos filtros de ruídos.

O trabalho de campo seguiu roteiro definido pela ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção em seu procedimento PR-051 – Estanqueidade – Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas (ABENDI, 2017). O roteiro contempla a utilização da haste de escuta para se realizar uma varredura ao longo do trecho como forma de mapear os pontos suspeitos de vazamentos. Na segunda fase, o geofone eletrônico é utilizado para analisar minuciosamente os pontos suspeitos encontrados anteriormente com o objetivo de localizar e confirmar os vazamentos (ABENDI, 2017). Definido o ponto de vazamento é realizada a marcação em planilha ou sistema, com referência ao local detectado, bem como deve-se sinalizar o local com tinta para que a equipe de manutenção possa realizar o conserto posteriormente.

ETAPA 6 – AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

A avaliação dos resultados se dará em função de (1) classificação do tipo de vazamento encontrado, (2) levantamento de indicadores de assertividade do trabalho de campo e (3) apontamento dos potenciais de recuperação de perdas de água na cidade de Curitiba (SC).

Em relação ao ponto (1): “As perdas de água por vazamentos são decorrentes de rupturas em adutoras, subadutoras, redes e ramais prediais, falhas em conexões e peças especiais, trincas nas estruturas e falhas na impermeabilização das ETA e reservatórios” (BRASIL, 2003) e neste trabalho o foco se dará nos casos de redes e ramais prediais. Assim, as ocorrências encontradas em campo serão classificadas como: “Cavalete”, representa o vazamento na conexão do hidrômetro, geralmente localizado no muro ou interior do imóvel; “Ramal”, vazamento entre o cavalete e a rede, localizado entre a calçada e a rede que passa na rua; “Rede” é o indicativo de um vazamento que foi possível localizar com precisão a sua posição de ocorrência diretamente na rede; e, “Suspeita – Rede” são as localizações em que há ruídos que podem indicar a presença de vazamentos, mas que fatores externos não permitem afirmar com exatidão, sendo indicado escavar o local para verificação.

Para a avaliação de (2): Propõe-se utilizar as métricas de número de ocorrências por endereço inspecionado, para que se tenha um totalizador de ações que serão executadas para consertos e manutenções, bem como o percentual de assertividade dos apontamentos de endereços realizados pela Solução SmartAcqua, sendo que a assertividade é definida pela presença de vazamentos nos endereços indicados. O cálculo do número de vazamentos por quilômetro de rede pesquisado (vazamentos/Km) traz a vantagem de ser um indicador muito utilizado para avaliação das condições da rede, uma vez que permite comparação entre sistemas.

Quanto aos potenciais a serem avaliados em (3): As perdas físicas calculadas pela Solução SmartAcqua serão expressas em razão do somatório do volume mensal ($m^3/mês$) referente somente aos endereços pesquisados. E, como forma de estabelecer referências de comparação, será calculado também o índice linear bruto de perda (ILB) expresso em $m^3/dia/Km$, conforme documento técnico da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2003), que também compõe o SNIS, sendo espelho do indicador IN050. A ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento, que é responsável pela regulação do saneamento na cidade de Curitiba (SC) não estabelece limites para classificação do SAA conforme ILB, então com o objetivo de propor uma comparação através de medidas de referência, serão utilizados parâmetros definidos pela AGIR – Agência Intermunicipal de Regulação do Médio Vale do Itajaí, considerada como um referencial válido pelas características regionais semelhantes e pela FNCCR - *Federation Nationale des Collectivites Concedantes et Regies* (órgão francês) que define limites recomendados por agências governamentais para quantificar a evolução dos níveis de vazamentos nos sistemas de distribuição de água.

A AGIR classifica o ILB como um indicador da categoria de eficiência, e conforme análise histórica do desempenho de diversos municípios propôs na resolução normativa nº10, de 20 de dezembro de 2019 (AGIR, 2019), considerando que quanto menor o valor do ILB melhor a eficiência do município, os seguintes intervalos de avaliação: Satisfatório: $ILB \leq 12 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$, Mediano: $12 < ILB < 13,5 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$, Insatisfatório: $ILB \geq 13,5 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$.

A FNCCR, de acordo com o exposto no estudo de Renaud et al. (2007), define que, para sistemas de abastecimento em áreas urbanas o índice de perdas linear ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$) pode ser classificado como: Satisfatório: $ILB \leq 10 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$, Quase Satisfatório: $10 < ILB < 13 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$, Mediano: $13 \leq ILB < 16 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$, ou Preocupante: $ILB \geq 16 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Km}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fase inicial do estudo foi apresentada nas Etapas 1 e 2 da metodologia, e contou com a seleção e caracterização da área de estudo e processamento inicial dos dados. Servindo como suporte ao planejamento das atividades de campo (Etapas 3 e 4), e para a execução dos trabalhos e sua respectiva avaliação (Etapas 5 e 6), as quais terão seus resultados discutidos a seguir.

ETAPA 3 – IDENTIFICAÇÃO, POTENCIALIZAÇÃO E GEORREFERENCIAMENTO DAS PERDAS DE ÁGUA

O planejamento tem início com a identificação, potencialização e georreferenciamento das perdas de água e se deu através da avaliação dos relatórios da Solução SmartAcqua com o objetivo de delimitar os bairros prioritários em ações de combate a perdas físicas de água. Conforme Figura 3, extraída do módulo “Painel de Controle da Cidade”, temos o relatório de “Perdas Físicas por Bairro”, que apresenta os bairros São Luiz e Água Santa em primeiro e segundo lugares respectivamente com os maiores índices de perdas físicas para a cidade de Curitiba (SC). Sendo um total de $8.005 \text{ m}^3/\text{mês}$ para o bairro São Luiz e $7.982 \text{ m}^3/\text{mês}$ para o bairro Água Santa, com essas informações pode-se decidir por priorizar estes dois bairros na pesquisa de vazamentos não visíveis.

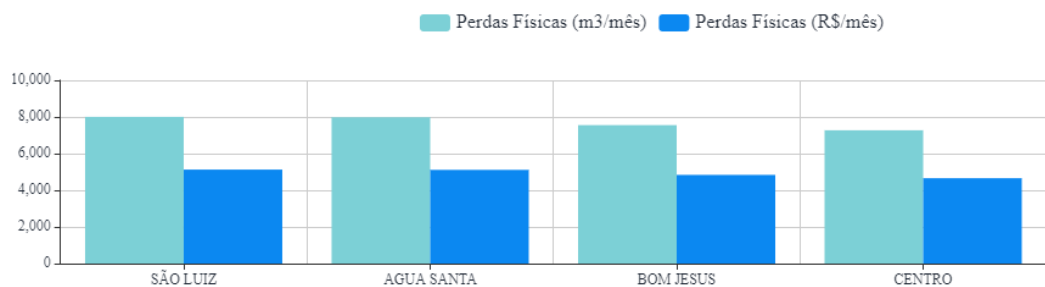
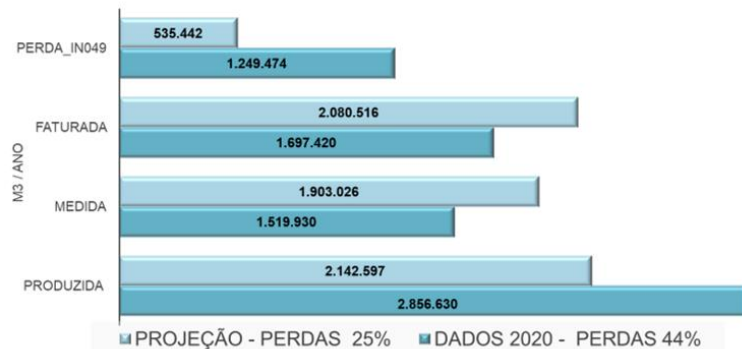


Figura 3 – Relatório de Perdas Físicas por Bairro na cidade de Curitiba (SC) de acordo com a Solução SmartAcqua.

Fato relevante é o de se ter encontrado perdas físicas nestes dois bairros que juntos poderiam abastecer até 3.950 pessoas consumindo 135 litros/habitante/dia ou então estar sendo preservado nos mananciais reduzindo-se os custos operacionais de se aduzir e tratar esta água. O potencial calculado para a cidade de Curitiba (SC) em um projeto de redução para atender a meta do Novo Marco do Saneamento (BRASIL, 2021) de 25% está apresentado na Figura 4, onde pode ser observado a redução do volume de perdas, o incremento do volume medido e faturado, além da redução do volume retirado do manancial.



Proposta de valor do SmartAcqua – Curitibaanos_CASAN_SC_BR



Fonte: Dados SNIS 2020
Perda Total* = IN049 - Índice de perdas na distribuição
25%= meta máxima do Novo Marco Regulatório – Portaria 490/21



Figura 4 – Proposta de valor fornecido pela Solução SmartAcqua para o caso de um projeto de redução de perdas de água no município de Curitibaanos (SC) para atingimento da meta do Novo Marco Legal do Saneamento de 25% para o IN049 (BRASIL, 2021).

Após selecionar os bairros São Luiz e Água Santa, foi realizada análise nos Mapas de Calor de Perdas Físicas da Solução SmartAcqua nas duas localidades com o objetivo de identificar regiões de maior concentração de perdas de água. Esta etapa auxilia na priorização das ações em áreas mais críticas de cada um dos bairros, otimizando recursos e aumentando a assertividade das ações. Pode-se observar através da Figura 5 – Mapa de calor das perdas físicas do bairro São Luiz, em Curitibaanos (SC) a distribuição dos pontos que caracterizam as perdas físicas, sendo que conforme descrito na Etapa 3 da metodologia, há um código de cores, onde quanto mais vermelho é o círculo, maior o volume de perdas, e quanto mais azul, menor é o volume de perdas naquele endereço.

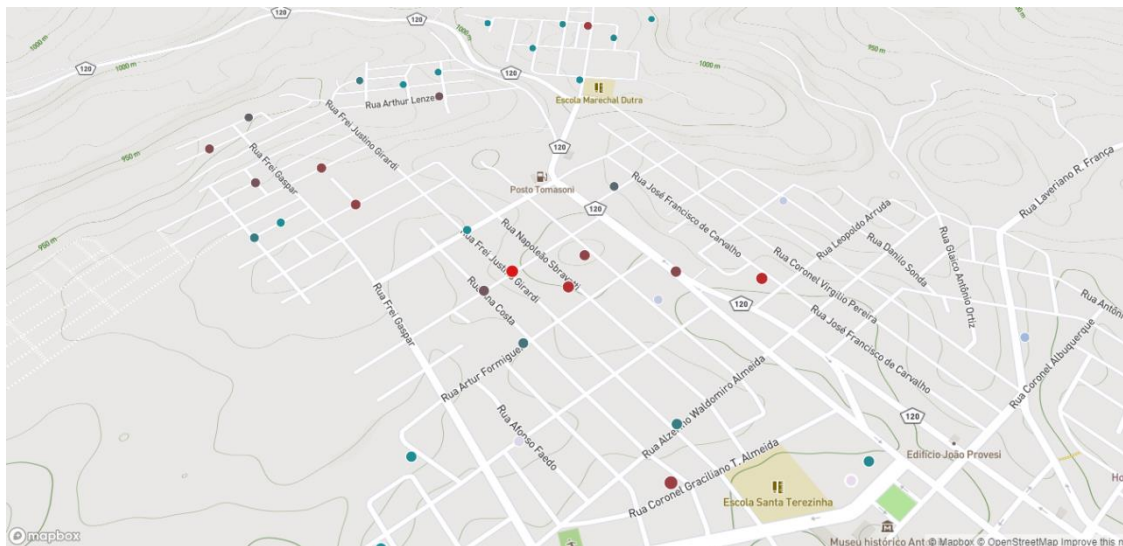


Figura 5 – Mapa de Calor das Perdas Físicas do Bairro São Luiz, Curitibaanos (SC).

ETAPA 4 – OTIMIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA LOGÍSTICA OPERACIONAL

A Etapa 3 permitiu a seleção dos bairros de atuação, e a partir deste ponto se utilizou das ferramentas de otimização para selecionar os endereços a serem visitados em cada um dos bairros. O primeiro passo foi analisar o “Diagnóstico de Perdas por Endereço” fornecido pela Solução SmartAcqua e utilizar seus dados como entradas para o algoritmo de otimização que levará em consideração as equações 1, 2 e 3 apresentadas na Etapa 4 da metodologia. Como resultado da otimização temos a listagem de endereços selecionados que maximizam o

volume de perdas a serem recuperados sujeitos à restrição do limite da extensão de rede a ser pesquisada pela equipe, essa listagem pode ser visualizada na Tabela 1.

A restrição que se tinha para produtividade da equipe de acordo com a extensão máxima a ser pesquisada era de seis quilômetros por dia. Com isso, analisando todos os endereços dos dois bairros que possuíam potencial de perdas físicas, o algoritmo de otimização retornou um total de 12 endereços, conforme Tabela 1, sendo 5 no bairro São Luiz e 7 no bairro Água Santa. O comprimento total da rede nesses trechos foi de seis quilômetros, e o volume de perdas calculado foi de 3501 m³/mês.

Tabela 1 – Endereços selecionados pelo algoritmo de otimização para os bairros São Luiz e Água Santa, em Curitiba (SC), de acordo com a solução SmartAcqua.

BAIRRO	ENDEREÇO	COMPRIMENTO DA REDE (m)	VOLUME DE PERDAS (m ³ /mês)	PERDAS LINEARES (m ³ /m)
São Luiz	R. Fr. Justino Girardi	670	428	0,64
São Luiz	R. Juvenal Braulio Bacelar	477	283	0,59
São Luiz	R. Dr. Henrique Paulo Kern	510	275	0,54
São Luiz	R. Ana Costa	605	302	0,50
São Luiz	R. Antonio Della Giustina	523	222	0,42
Água Santa	R. Castro Alves	182	143	0,78
Água Santa	R. Kaled Sidani	390	289	0,74
Água Santa	R. Raulino Almeida	630	436	0,69
Água Santa	R. Costa E Silva	242	155	0,64
Água Santa	R. Raul Bilck	779	452	0,58
Água Santa	R. Euclides Prado	762	424	0,56
Água Santa	R. Carlos Gomes	230	94	0,41

O resultado da seleção também pode ser visto nas Figuras 6 e 7, que apresentam os esquemas de planejamento georreferenciado de localização dos trechos de busca de vazamentos dos bairros São Luiz e Água Santa, respectivamente. Onde os trechos em verde correspondem aos endereços com maior prioridade de inspeção, selecionados pelo algoritmo de otimização, e os em vermelho são endereços que não foram selecionados pelo algoritmo, dados os objetivos da otimização, mas que possuem potenciais perdas físicas e poderiam funcionar como alternativas de pesquisa.

realizados no período matutino, com boas condições climáticas. O endereço selecionado para iniciar a pesquisa foi a R. Castro Alves, que conforme Tabela 1, possui a maior perda linear (m³/m) dentre os endereços selecionados.

Em decorrência da produtividade da equipe ser diferente em função das fases de pesquisa de vazamentos não visíveis, sendo a fase 1, varredura com haste de escuta, mais rápida e a fase 2, detecção através de geofonamento eletrônico, mais demorada, houve a necessidade de se acrescentar um critério de decisão na escolha dos endereços a serem visitados. Como citado na Etapa 4, a prática operacional está sujeita a diferentes variáveis de decisão. Então, pelo maior tempo requerido para a fase 2 da pesquisa de vazamentos em pontos suspeitos, decidiu-se que seriam visitados, além do endereço com maior perda linear do bairro, os endereços que fossem paralelos a este primeiro, com o objetivo de minimizar os deslocamentos da equipe. Assim, além da R. Castro Alves, foram visitados a R. Costa e Silva, seguida da R. Cecília Meireles, esta última que não estava no mapeamento inicial, mas paralela às anteriores foi apontada pelo geofonamento. Foi possível realizar a varredura e detecção de vazamentos em um total de 450 metros de rede aproximadamente.

No bairro São Luiz as atividades ficaram concentradas nas ruas Frei Justino Girardi e Ana Costa. A primeira pelo maior indicador de perdas lineares (m³/m) e a segunda pela proximidade e fácil deslocamento da equipe. O bairro é abastecido tanto pelo reservatório 1 como pelo 2, no entanto as ruas avaliadas pertencem a zona de abastecimento do reservatório 1 (R1). Segundo equipe da CASAN, as pressões da rede de abastecimento neste bairro são baixas, aproximadamente 14 mca em média nos pontos altos das ruas, por estar próximo da cota do reservatório. Outra característica deste local é a utilização de poços artesanais no abastecimento por diversos consumidores.

ETAPA 6 – AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Durante a execução do processo de pesquisa de vazamentos não visíveis das redes no bairro Água Santa foram encontrados 1 vazamento em Cavalete, 1 vazamento em Ramal, 1 vazamento em Rede e 3 pontos em que havia suspeita de vazamento na rede, conforme apresentados na Tabela 2. A suspeita de vazamento na rede localizada próximo à esquina da R. Castro Alves com R. Antonio Helio do Amaral foi a tarefa que demandou maior tempo da equipe, pela complexidade do local com derivações e estrangulamento de rede.

Tabela 2 – Classificação e localização dos vazamentos no bairro Água Santa.

CLASSIFICAÇÃO DOS VAZAMENTOS	LOCALIZAÇÃO
Cavalete	R. COSTA E SILVA, xx*
Ramal	R. CASTRO ALVES, xx*
Rede	R. COSTA E SILVA, em frente à casa xx*
Suspeita - Rede	R. CECÍLIA MEIRELES, xx*
Suspeita - Rede	R. CASTRO ALVES, em frente à casa xx*
Suspeita - Rede	Esquina da R. CASTRO ALVES com R. ANTONIO HELIO DO AMARAL

(*) o número das residências foi omitido como forma de proteção dos dados.

Através da Figura 8 é possível visualizar o mapa com a localização e classificação dos vazamentos encontrados no bairro Água Santa. A suspeita de vazamentos encontrada na R. Cecília Meireles foi investigada pela equipe da CASAN e no local não foi identificado um vazamento, mas sim uma ligação direta. Este resultado reforça a validação dos potenciais calculados pela solução SmartAcqua, uma vez que não havia apontado perdas físicas neste endereço, porém indicou que havia perdas comerciais potenciais na residência localizada em frente ao ponto suspeito, bem como havia emitido um alerta de anomalia referente ao seu perfil de consumo.

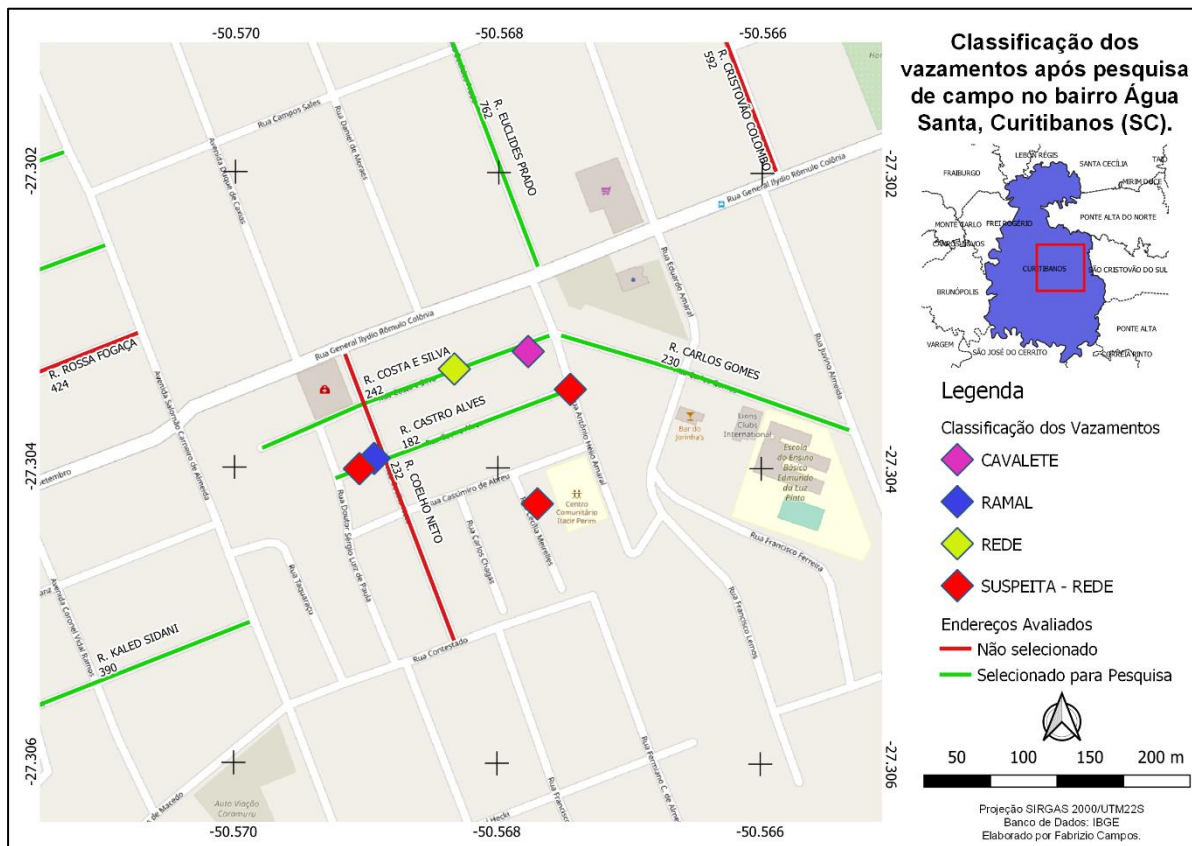


Figura 8 – Mapa de localização e classificação dos vazamentos encontrados após pesquisa no bairro Água Santa, em Curitiba (SC). Elaborado pelo Autor.

Ainda no bairro Água Santa, na R. Castro Alves, a equipe da CASAN que estava acompanhando os trabalhos indicou que em frente a uma residência (endereço omitido) foi realizado um reparo (Figura 9) aproximadamente 15 dias antes do trabalho de campo. Nesta ocorrência havia vazamento visível de água, localizado no colar de ligação do ramal na rede, caso não tivesse aflorado, certamente este vazamento seria detectado durante a pesquisa de vazamentos ocultos.



Figura 9 - Localização de reparo recente na R. Castro Alves, decorrente de vazamento em ramal.



O trabalho no bairro São Luiz ocorreu de forma mais fluida devido às características citadas anteriormente, a fase 1 de varredura com haste de escuta encontrou poucos pontos suspeitos e por conta disso houve menor demanda do uso do geofone eletrônico, o que permitiu a execução da pesquisa na extensão total de 1275 metros referentes às ruas Frei Justino Girardi e Ana Costa. Durante a pesquisa de vazamentos foram encontrados 2 vazamentos em Cavalete e 1 ponto com Suspeita de vazamento na rede, conforme Tabela 3 e Figura 10.

Tabela 3 – Classificação e localização dos vazamentos no bairro São Luiz.

CLASSIFICAÇÃO DOS VAZAMENTOS	LOCALIZAÇÃO
Cavalete	R. ANA COSTA, xx*
Cavalete	R. ANA COSTA, xx*
Suspeita - Rede	Esquina da R. FREI JUSTINO GIRARDI com a R. CEL. FERMINIANO R DE ALMEIDA

(*) o número das residências foi omitido como forma de proteção dos dados.

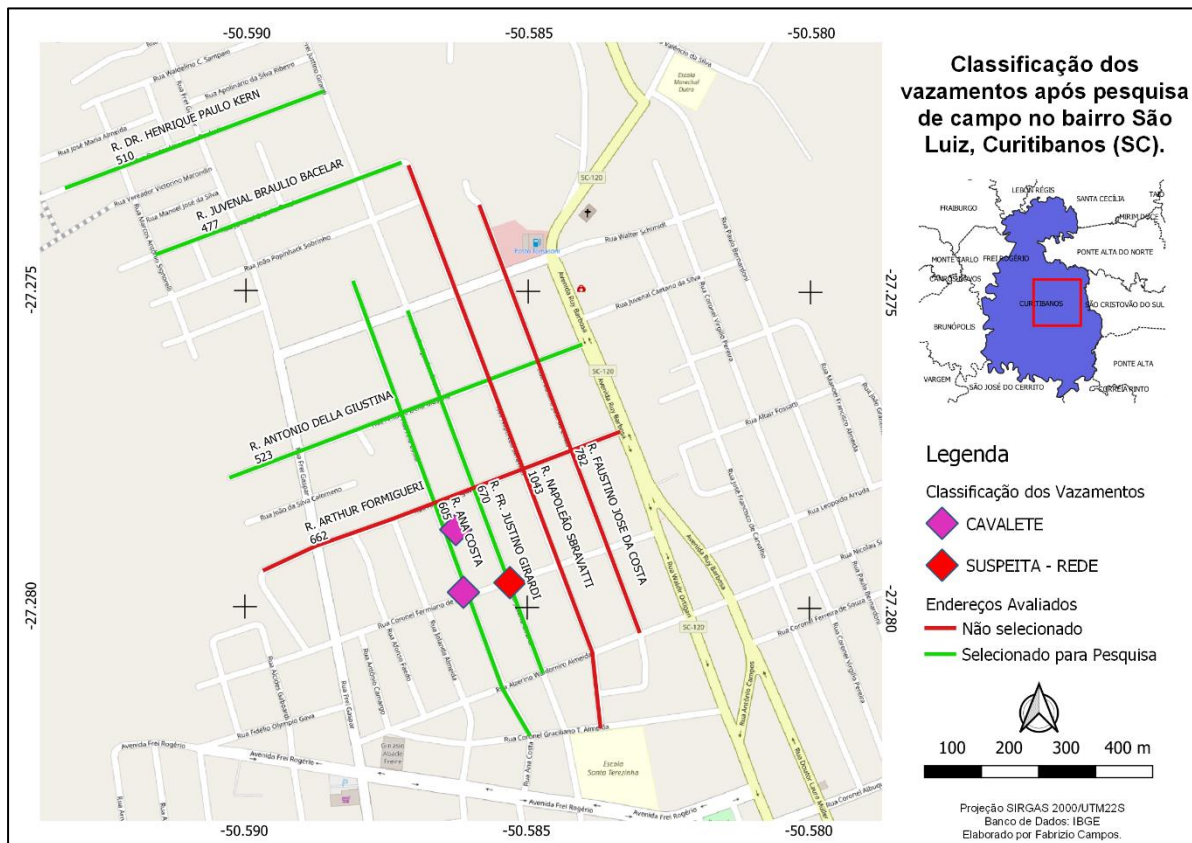


Figura 10 – Mapa de localização e classificação dos vazamentos encontrados após pesquisa no bairro São Luiz, em Curitiba (SC). Elaborado pelo Autor.

O ponto com suspeita de vazamento apontado pela inspeção de campo na esquina da R. Frei Justino Girardi com a R. Cel. Ferminiano R de Almeida coincide com um ponto em que foi realizado reparo recente pela equipe da CASAN, conforme Figura 11. Novamente, caso o vazamento não tivesse aflorado, certamente ele seria detectado durante a pesquisa de vazamentos ocultos.



Figura 11 - Localização de reparo recente na esquina da R. Frei Justino Girardi com a R. Cel. Ferminiano R de Almeida, decorrente de vazamento visível de água.

O levantamento de métricas a partir dos resultados da execução da pesquisa de vazamentos não visíveis é importante para se validar a assertividade da Solução SmartAcqua no planejamento das ações, objeto do termo de cooperação técnica, bem como para proporcionar comparação com outros sistemas e diagnosticarmos o status do SAA Curitibanos. Ao avaliar-se a métrica de número de vazamentos por quilômetro de rede pesquisado, temos um total de 8 ocorrências de vazamentos (excluindo-se o ponto suspeito da R. Cecília Meireles o qual foi confirmado como perda comercial por se tratar de uma ligação clandestina direta a rede de água da CASAN) em 1,7 Km pesquisados, que resulta em um índice de 4,70 vazamentos/Km. Este valor pode ser considerado elevado para o sistema de distribuição, alguns estudos apontam para valores menores mesmo em sistemas com redes de ferro fundido que possuem idade média de 50 anos, como o caso apontado por Sattar et al. (2019), que estudou a região da Grande Toronto e encontrou o valor de 3,50 vazamentos/Km. Outros estudos regionais encontraram os valores de 2,85 vazamentos/Km para um setor no extremo norte da cidade de São Paulo (SP) (COSTA, 2009), e 3,92 vazamentos/Km para a cidade de Monte Alto (SP) (SANTOS, 2007).

Considerando os endereços em que foram realizadas a pesquisas de vazamentos não visíveis, a Solução SmartAcqua calculou um volume potencial de perdas de 1027 m³/mês, sendo aproximadamente 730 m³/mês referente aos logradouros do bairro São Luiz e 297 m³/mês para os endereços do bairro Água Santa. Para o cálculo do ILB – índice linear bruto de perdas relaciona-se o volume em razão da extensão da rede pesquisada, assim, obtém-se os valores de 19,07 m³/dia/Km como ILB do bairro São Luiz, e 23,39 m³/dia/Km como ILB do bairro Água Santa. Ao comparar estes valores com o referencial proposto pela AGIR (AGIR, 2019), pode-se classificar o nível de perdas como insatisfatório para ambos os bairros. Em consideração à classificação proposta pela FNCCR (RENAUD et al., 2007), para áreas urbanas, os valores de ILB calculados tanto para o bairro São Luiz, quanto para o bairro Água Santa são considerados preocupantes.

CONCLUSÃO

A potencialização das perdas de água, calculadas através do uso de inteligência artificial, somada às ferramentas de georreferenciamento reforçam a ideia de que informações de qualidade auxiliam a priorizar regiões críticas da cidade, uma vez que a metodologia da Solução SmartAcqua, consolidada ao longo dos anos, precisamente identifica as perdas comerciais e físicas, e proporcionam um diagnóstico que suporta as decisões durante a fase de planejamento. Não obstante, raciocinar o desafio da seleção de endereços nos moldes da pesquisa operacional permitiu formular um problema clássico de otimização, que considerasse variáveis de decisão estritamente necessárias do ponto de vista prático. Ainda, reduziu o espaço de busca para a execução da pesquisa de vazamentos não visíveis, aumentando a assertividade da equipe de campo, bem como economizando recursos materiais e humanos.

Assim, evidencia-se a assertividade da Solução SmartAcqua no planejamento das ações de campo, uma vez que há correlação entre os dados de campo com o diagnóstico feito pela ferramenta, e porque a pesquisa de vazamentos não visíveis foi capaz de detectar ocorrências em todos os endereços apontados por ela. Avalia-se



que a eficácia do trabalho realizado se deu pelo conjunto de tecnologias aplicadas, SmartAcqua e SewerIn-Canumã, com cooperação da equipe CASAN/Curitiba (SC) desde o planejamento às ações de campo.

Os resultados encontrados para as métricas propostas, em comparação ao referencial teórico, permitem uma avaliação do status atual do SAA Curitiba, que leva a concordar com a necessidade da implementação de um processo de gerenciamento do combate às perdas de água mais efetivo. Neste sentido, a execução desse trabalho técnico que iniciou com a definição de uma metodologia adequada, que contemplasse o uso de inteligência artificial e otimização no planejamento das ações de combate às perdas de água, e efetivamente se propôs a validar os conceitos em campo, revela um caminho que une ferramenta e processo e é capaz de contribuir com o estabelecimento de um combate efetivo das perdas de água em sistemas de abastecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABENDI. Estanqueidade – Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas procedimento - PR-051. 4º Revisão. 2017.
2. AGIR. Resolução Normativa nº 10, de 20 de dezembro de 2019. ESTABELECE PROCEDIMENTOS PARA COLETA, SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS E CÁLCULO DE INDICADORES, PARA AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DE DESEMPENHO DA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DOS MUNICÍPIOS REGULADOS PELA AGIR. Resolução Normativa 010.2019. Blumenau, SC, 26 dez. 2019. Disponível em: https://www.agir.sc.gov.br/uploads/legislacao/3879/pR0aVR_LM3AbAhB34hmMcQyuuOJfRLuf.pdf. Acesso em: 16 maio 2022.
3. ALEGRE H, BAPTISTA JM, CABRERA JR E, CUBILLO F, DUARTE P, HIRNER W, MERKEL W, PARENA R. *Performance indicators for water supply services*. IWA publishing; 2016.
4. ARENALES M, et al. Pesquisa operacional [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
5. BRASIL. Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. Diário Oficial da União. ed. 135. Brasília, 16 jul. 2020. Seção 1, p. 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 04 maio 2022.
6. BRASIL. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Diário Oficial da União. ed. 55. Brasília, 23 mar. 2021. Seção 1, p. 30. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-490-de-22-de-marco-de-2021-309988760>. Acesso em: 04 maio 2022.
7. BRASIL, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. DTA – Documento Técnico de Apoio no A2 - Definições de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento. Brasília-DF. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA. 2003.
8. BRASIL, SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento (org.). Série Histórica. 2022. Ano base 2020. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 04 maio 2022.
9. COSTA, Robson Fontes da et al. Áreas de controle e recorrência de vazamentos nas redes de distribuição – o combate as perdas reais. in: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Recife: 2009.
10. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/curitibanos/panorama>. Acesso em 04 maio 2022.
11. INSTITUTO TRATA BRASIL. Brasil Chega aos 40% de Perdas de Água Potável. 2022. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/pt/saneamento-basico/brasil-chega-aos-40-de-perdas-de-agua->



potavel#:~:text=Levar%20%C3%A1%20gua%20para%20as%20resid%C3%A2ncias,captada%20nos%20sistemas%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20.. Acesso em: 04 maio 2022.

12. LUNARDI NETO, A. et al. Estudos socioambientais sobre o Planalto Catarinense. ed. Florianópolis: Editora Insular, 2020.
13. RENAUD, Eddy; BRÉMOND, Bernard; POULTON, M. Studies of reference values for the linear losses index in the case of rural water distribution systems. In: WATER LOSS 2007 Bucarest, ROM. 2007.
14. SANTOS, Erivelton Bortoli dos. Avaliação do gerenciamento de perdas de água por vazamentos em municípios de médio porte. 2007.
15. SATTAR, Ahmed et al. Extreme learning machine model for water network management. Neural Computing and Applications, v. 31, n. 1, p. 157-169, 2019.
16. SMARTACQUA. Reduza suas perdas de água através alta tecnologia e inovação. Disponível em: www.smartacqua.com. Acesso em: 04 maio 2022.
17. TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. Capítulo de livro. In: TSUTIYA, MT. Abastecimento de água, v. 3, p. 457-526, 2006.