USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO FERRAMENTA DE RECUPERAÇÃO DE RECEITA E PROTEÇÃO DO FATURAMENTO TENDO COMO FONTE DE DADOS LEITURAS PROVENIENTES DE LIGAÇÕES COM TECNOLOGIA IOT

Davi Lemos de Moraes [(1)]
Tecnólogo em Projetos Mecânicos (Fatec) – Pós-Graduado em Ciência de Dados (Fia USP).
José Hermínio da Silva Filho [(2)]
Engenheiro civil, com pós-graduação em obras prediais e gestão empresarial, com 15 anos de experiência em processos de engenharia, sendo os últimos 6 anos dedicados ao setor de saneamento.
Manuel Rodrigues Perdiz [(3)]
Tecnólogo em Gestão Mercadológica.
Ariane Patrício de Albuquerque [(4)]
Bacharel em Arquitetura e Urbanismo com 10 anos de experiência em Gestão de Projetos de Performance com foco em perdas comerciais.
Paulo José Alves de Oliveira [(5)]
PhD em Engenharia Ambiental

Endereço[(1)]**:** Rua Sumidouro, 448 – Pinheiros – São Paulo – SP - 05428-000 – Brasil - Tel: +55 (11) 99580-0599 - e-mail: dlmoraes@sabesp.com.br.

RESUMO

Perdas aparentes de água resultam em perda de faturamento. Para identificar e reduzir essas perdas, é fundamental o monitoramento e a análise detalhada da série histórica de volumes consumidos, que ajudam a detectar anomalias nos padrões de consumo. A utilização de dispositivos IoT potencializa esse monitoramento, permitindo a coleta e transmissão automatizada de dados, fornecendo informações detalhadas e dinâmicas sobre os perfis de consumo dos clientes.
A integração de dispositivos IoT com algoritmos de Inteligência Artificial permite a análise automática de grandes volumes de dados, identificando padrões anômalos com precisão e confiabilidade. O objetivo do trabalho é desenvolver uma plataforma de IA capaz de identificar inconsistências no consumo de água em um ambiente IoT, minimizando a perda de receita por irregularidades no hidrômetro.
A metodologia envolve a análise de intervenção, que utiliza procedimentos estatísticos para avaliar dados de consumo monitorados diariamente como séries temporais. A identificação de alterações significativas nas características de uma série temporal é descrita pela teoria clássica de Análise de Intervenção. O sistema de IA desenvolvido identifica automaticamente o padrão de consumo típico de cada cliente e gera alertas de anomalias, permitindo ações rápidas em casos de queda de consumo, elevando a acurácia do método de detecção.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento, Inteligência Artificial, Anomalia**.**

INTRODUÇÃO

As perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água são definidas como volumes consumidos pelos usuários e que não são faturados pelas concessionárias, sendo atribuídas principalmente a imprecisão em hidrômetros e atos fraudulentos. A mitigação dessas perdas possui relevância estratégica, uma vez que contribui para a sustentabilidade econômica e operacional das concessionárias, maximizando receitas e promovendo o uso eficiente dos recursos hídricos (Ociepa-Kubicka, et al., 2024). Diante de uma demanda crescente por água e de pressões ambientais, a gestão efetiva das perdas aparentes torna-se um objetivo primordial para o setor de saneamento.
O monitoramento e análise detalhada da série histórica de volumes consumidos pelos usuários constituem ferramentas essenciais para a identificação de anomalias nos padrões de consumo potencializando a redução de perdas aparentes (Vanderlei, 2023). Esse tipo de abordagem permite identificar reduções expressivas no consumo faturado gerada por hidrômetros obsoletos ou com baixa eficiência metrológica, que podem resultar

em submedição significativa, além de possibilitar a detecção de fraudes que impactam negativamente a confiabilidade do sistema. Por outro lado, elevações súbitas de consumo também podem ser detectadas nos casos em que vazamentos estejam ocorrendo.
A abordagem de monitoramento de séries de volumes consumidos pode ser potencializada pela utilização de soluções tecnológicas inovadoras, por exemplo, o uso de dispositivos do tipo IoT (Velayudhan, et al., 2022). A integração de IoT nos sistemas de abastecimento permite a coleta e transmissão de dados de consumo de forma automatizada, fornecendo às concessionárias informações detalhadas e dinâmicas sobre os perfis de consumo dos clientes. Dessa forma, os padrões de consumo atípicos podem ser detectados dentro de uma janela temporal de poucos dias reduzindo o tempo de resposta operacional.
A análise detalhada de séries históricas de volumes consumidos, obtidas por dispositivos IoT em consumidores individuais de sistemas de abastecimento de água, representa um enorme desafio devido ao grande volume de dados gerados diariamente os quais requerem processamento imediato. Nesse contexto, a integração de dispositivos IoT com algoritmos de Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma solução promissora. A IA possibilita a análise automática de grandes conjuntos de dados, identificando padrões anômalos com maior precisão e confiabilidade proporcionando um diferencial para as concessionárias.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma de Inteligência Artificial (IA) que possa identificar inconsistências no consumo de água em um ambiente de Internet das Coisas (IoT). Essa plataforma visa minimizar a perda de receita das concessionárias de água, detectando avarias em hidrômetros e irregularidades, como as fraudes. Além disso, a plataforma busca reduzir as deduções de valor por concessões ao cliente devido ao aumento de consumo causado por vazamentos. Em síntese, o trabalho pretende melhorar a eficiência operacional e econômica da concessionária, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos.

METODOLOGIA UTILIZADA

Análise de intervenção

A identificação de mudanças significativas no padrão de consumo pode ser realizada por identificação gráfica visual de um analista. Porém este tipo de análise não é capaz de detectar mudanças sutis no nível do consumo nem tampouco é factível de ser aplicada em um contexto de medidores Iot devido a imensa quantidade de dados disponível. Portanto, surge a necessidade de interpretar o conjunto de dados de consumos monitorados diariamente como uma série temporal e utilizar procedimentos estatísticos formais para avaliar a base de dados IoT de maneira automática.
A identificação de alterações significativas nas características de uma série temporal é descrita pela teoria clássica de Análise de Intervenção (Box, et al., 2015). Por uma intervenção entendemos a ocorrência de algum tipo de evento em dado instante de tempo T, conhecido a priori. Tal ocorrência pode manifestar-se por um intervalo de tempo subsequente e que afeta temporariamente, ou permanentemente, a série em estudo. Para as mudanças registradas na série temporal de consumos focamos em identificar eventos que alterem permanentemente o consumo medido. Nesses tipos de eventos o faturamento seria afetado de maneira recorrente.
Um evento pode afetar uma série temporal de maneira abrupta ou gradual. Por exemplo, já são bem conhecidas as curvas de perda de eficiência de medidores de vazão do tipo velocimétrico que tendem a reduzir o consumo medido gradualmente com o passar do tempo. Por outro lado, a realização de uma fraude pelo cliente em um dado momento no tempo resultará em uma redução abrupta no consumo medido. O procedimento de detecção automática da intervenção proposto neste trabalho é capaz de identificar ambos os tipos de evento citados.
O procedimento para identificar a ocorrência de um fenômeno de intervenção em uma série temporal utiliza como estatística de teste a relação entre a diferença do nível da série antes e depois da suposta intervenção em relação ao desvio padrão estimado para o modelo de séries temporais. Dessa forma, quanto maior a diferença entre o nível típico observado para a série antes e depois da anomalia maior será a expectativa estatística de que tenha ocorrido um evento de intervenção.
Este trabalho propõe uma extrapolação dos conceitos clássicos de análise de intervenção para as séries de consumo de água coletados no sistema IoT. Primeiramente é calculado o **Score de Anomalias** que mede qual a distância relativa entre os volumes registrados nos períodos de tempo mais recentes e os volumes típicos registrados antes da ocorrência da anomalia. Este Score de Anomalias é calculado individualmente para cada dia da semana considerando as variações sazonais de consumo semanais (Figura 1.a). O Score é calculado para

múltiplos períodos no tempo e, caso a anomalia seja persistente, é totalizada a quantidade de períodos em que a anomalia persiste (Figura 1.b) sendo chamada de **Severidade da Anomalia**.

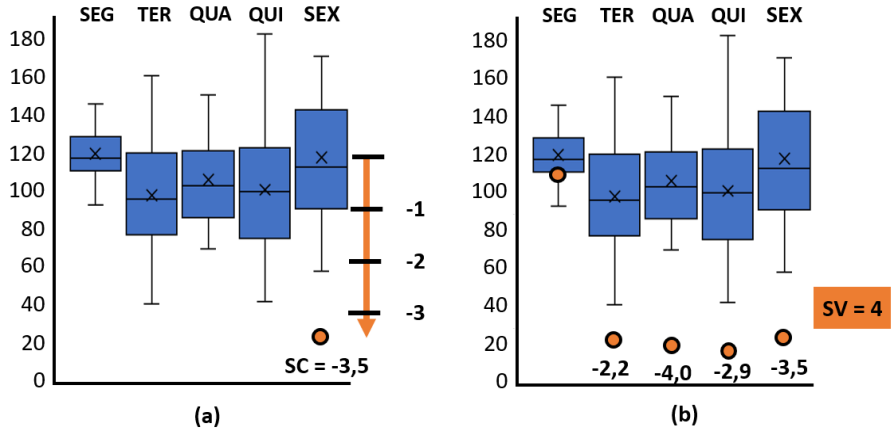


Figura 1 – Parâmetros para a avaliação de uma anomalia na série de consumos (a) Score de anomalia (b) Severidade da anomalia.

Painel de detecção

A base teórica definida na seção anterior viabilizou o desenvolvimento de um sistema de Inteligência Artificial que, a partir dos dados de consumo recebidos duas vezes ao dia (8h e 18h), identifica automaticamente o padrão de consumo típico de cada cliente. Em seguida, são calculados os **Score e Seridade de Anomalias**, que automaticamente geram alertas aos analistas sempre que houver alteração no padrão. Isso possibilita a tomada de ações tanto em casos de queda no consumo (recuperação de volume de água e receita) quanto nos casos de alta de consumo (vistoria no imóvel e comunicação ao cliente). Os indicativos de anomalias (**Score e Severidade**) são calculados nas escalas diária, semanal e mensal visando elevar a acurácia do método de detecção.

Os alertas ficam disponíveis ao operador/analista através de uma plataforma denominada “Painel de Detecção” (Figura 2). Através deste painel o operador pode filtrar inconsistências por PDE (Ponto de Entrega), Grupo de Leitura ou Fornecimento. O operador também pode definir uma faixa de consumo desejada ou definir o percentual de redução ou aumento de consumo a ser analisado. Também podem analisar por categoria de uso (Residencial, Comercial, Industrial, Público ou Misto) visualizando tendências de diminuição ou aumento de consumo, e assim atuar na categoria que poderia trazer maior retorno financeiro ou reduzir o impacto das reclamações dos clientes quanto ao aumento do consumo.



Figura 2 – Exemplo conceitual do Painel de Detecção de Anomalias proposto.

RESULTADOS OBTIDOS

Implantação do sistema IoT

Em 2023 deu-se início ao contrato IOT, cujo objetivo era implantar a tecnologia IoT em todas as ligações do atendimento comercial. O contrato previa a instalação de 124.000 hidrômetros/módulos de comunicação, 10.000 válvulas de corte e 100 sensores de pressão.

O atendimento comercial possui 145.000 ligações e com esse contrato 100% dos hidrômetros instalados serão com tecnologia IOT. Com isso permitirá a realização de leitura remota e envio da conta por meios digitais, como email ou também disponibilizada através dos canais de atendimento da empresa.

As instalações dos hidrômetros foram concluídas em abril de 2024 e desde então as ligações e as bases de dados estão sendo preparadas para o início da apuração de consumo remotamente. Já foi realizado um projeto piloto em um setor específico com 1.100 ligações, por 03 meses e foi bem-sucedido, sem intercorrências. Após a aplicação do piloto, foram feitos ajustes e melhorias e em agosto de 2024 o teste foi estendido para todo o grupo de faturamento, que possui 8.000 ligações.

Validação em campo

No dia 19/12/2024 foi realizada uma vistoria em campo com o objetivo de validar a metodologia de detecção e certificar a consistência das informações geradas. Inicialmente foram priorizadas ligações do tipo comercial onde apresentavam indicativos de redução de consumo pelo **Score de Consumo** e alta **Severidade**. Além disso, foram selecionados clientes com um grande potencial de recuperação de receita. A Figura 3 apresenta dois exemplos das visitas realizadas em campo. Ambos os locais visitados possuem módulo de transmissão conectado ao sistema IoT. A característica de consumo é distinta entre a Casa de repouso (Figura 3.a) e a Indústria de alimentos (Figura 3.b) pois são atividades de ramos completamente independentes. Porém ambas são atividades onde possui um elevado consumo de água e, portanto, de interesse para o estudo.



(a) (b)

Figura 3 – Cavaletes exemplo da vistoria em campo (a) Casa de repouso (b) Indústria de alimentos.

A Figura 4 mostra a evolução dos volumes diários registrados para a Casa de repouso. Essa ligação comercial possui uma quebra expressiva do nível do padrão de consumo típico que costumava ser de 4 metros cúbicos por dia. A partir do mês de abril de 2024 o consumo reduziu para menos de 1 metro cúbico por dia. Os indicadores de anomalia calculados corroboram essa identificação visual. O Score diário foi calculado igual a 2,84 e com Severidade de 48 dias. O que representa uma distância significativa do consumo típico por 48 dias. Além disso as Severidades semanal e mensal apontaram para uma redução significativa por 8 semanas ou 2 meses respectivamente.

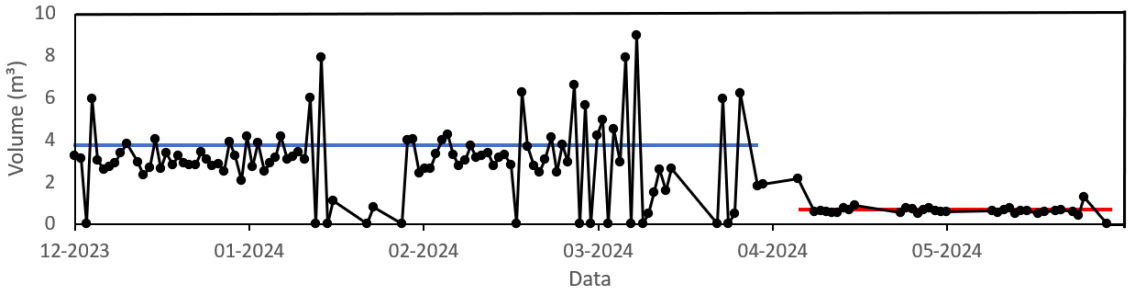


Figura 4 – Série temporal de volumes diários para a casa de repouso

Durante a inspeção na casa de repouso foram realizados tanto os procedimentos padrão da empresa para verificação de fraudes como também os procedimentos para verificação da transmissão dos dados. Este cavalete específico possuía duas luvas ao redor do hidrômetro que podem dar abertura para o cliente realizar uma inversão do hidrômetro (Figura 3.a). O cliente não realizava este procedimento de acordo com os dados de volume transmitidos (Figura 4) porém foi apontada a adequação do cavalete para evitar problemas futuros. Quanto à transmissão dos dados, foi identificada que esta era feita sem nenhuma interrupção. Porém, o coeficiente de conversão de pulsos não havia sido definido corretamente. Foi verificada então a lista de ordens de serviço para esse cliente e realmente em Abril de 2024 havia sido realizada uma parametrização do equipamento que estava causando uma transmissão de um volume menor. Nesse caso, portanto o sistema de inteligência artificial apontou para um tipo de erro de medição que dificilmente seria identificado em campo.

A Figura 5 mostra a evolução dos volumes diários registrados para a Indústria de alimentos. Nesse cliente existe a paralização das atividades durante o final de semana o que é refletido em variações de consumo com um padrão semanal. A indústria de alimentos também possui uma quebra expressiva do nível do padrão de consumo típico que costumava ser de 17 metros cúbicos por dia. A partir do mês de Abril de 2024 o consumo reduziu para cerca de 5 metros cúbico por dia. Os indicadores de anomalia calculados corroboram essa identificação visual. O Score semanal foi calculado igual a 2,48 e com Severidade igual a 30. O que representa uma distância significativa do consumo típico por 30 semanas. Por outro lado, a Severidade diária foi de apenas um dia devido a um pico recente de consumo. Dessa forma ressalta a importância de calcular os indicadores de anomalias nas escalas temporais diária, semanal e mensal para garantir uma melhor acurácia no processo de identificação de clientes.

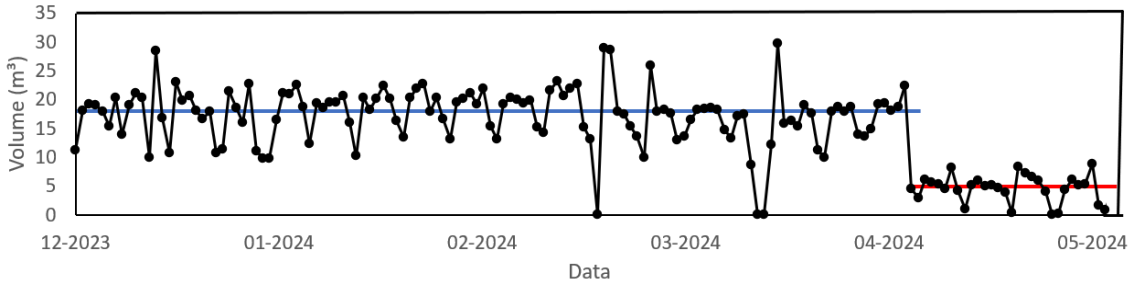


Figura 5 – Série temporal de volumes diários para a indústria de alimentos

Durante a inspeção na indústria de alimentos foram realizados tanto os procedimentos padrão da empresa para verificação de fraudes como também os procedimentos para verificação da transmissão dos dados. Não foi identificada nenhuma irregularidade. O processo de busca continuou através de entrevista. Segundo o cliente, nesse local havia um grande desperdício de água no passado devido a um extravasamento recorrente do reservatório, porém que já havia sido corrigido no mês de abril. Nota-se na Figura 5 que exatamente nesse mês houve a redução do consumo. Também, devido a paralização da indústria acontecer aos finais de semana não fazia sentido a série de dados possuir um volume diário sempre alto no passado para todos os dias da semana. Dessa forma conclui-se que o depoimento do cliente fazia todo sentido. Nesse caso, portanto não foi identificada uma irregularidade. Porém considera-se que o sistema de inteligência artificial foi efetivo ao apontar para uma matrícula que realmente houve redução de consumo.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados da implantação do sistema IoT e da validação em campo evidencia avanços significativos na gestão do consumo de água. A adoção da tecnologia permitiu a leitura remota dos hidrômetros, viabilizando maior eficiência no monitoramento e faturamento. A etapa de testes e ajustes foi conduzida com rigor, garantindo que as ligações comerciais estivessem preparadas para a transição para a apuração remota.

A validação em campo demonstrou a eficácia da metodologia de detecção de anomalias, especialmente na identificação de padrões de consumo atípicos. No caso da Casa de Repouso, a análise da série temporal revelou uma queda acentuada no consumo diário, indicando possíveis problemas de medição. A inspeção física identificou uma parametrização incorreta do equipamento, um erro técnico que poderia passar despercebido sem o suporte do sistema de inteligência artificial. Já na Indústria de Alimentos, a redução de consumo foi explicada por ajustes operacionais internos, confirmando que a tecnologia IoT foi capaz de captar mudanças reais no consumo e auxiliar na interpretação dos dados.

O uso de indicadores como Score de Consumo e Severidade permitiu uma abordagem mais precisa na identificação de irregularidades e oportunidades de ajuste. A distinção entre os padrões de consumo das atividades comerciais analisadas reforça a importância de aplicar métodos flexíveis e adaptáveis a diferentes tipos de clientes.

Como próximo passo, pode ser interessante ampliar a análise para identificar tendências de consumo em um período mais longo, além de avaliar estratégias para otimizar a parametrização dos equipamentos de forma preventiva. O sistema demonstrou sua capacidade de fortalecer a gestão hídrica e a recuperação de receita, mas a contínua melhoria dos algoritmos e metodologias poderá proporcionar ganhos ainda maiores

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A redução das perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água é essencial para a sustentabilidade financeira das concessionárias e a preservação dos recursos hídricos. Nesse contexto, surgem tecnologias inovadoras como o IoT e a Inteligência Artificial as quais permitem coletar, transmitir e interpretar dados em tempo real sobre os perfis de consumo, promovendo eficiência e precisão na gestão do abastecimento.
O objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma de Inteligência Artificial capaz de identificar inconsistências no consumo de água buscando minimizar a perda de receita com avarias em hidrômetros,

irregularidades ou reduzir as deduções de valor por concessões ao cliente devido à alta de consumo com vazamentos.

Dessa forma foram desenvolvidos dois indicadores, score e severidade de anomalias, a partir da teoria estatística clássica de Análise de Intervenção. Além disso, esses indicadores foram associados a um "Painel de Detecção" de forma a fornecer ao analista um ambiente propício para a identificação das anomalias de consumo com o máximo de eficiência e acurácia.

O sistema IoT foi instalado em 124.000 hidrômetros representando 100% das ligações no sistema comercial. A eficácia da utilização dos indicadores de anomalias proposto foi testada na prática em uma vistoria de campo. Os resultados apontam que realmente um elevado score de anomalia e severidade indicam que existe um problema na ligação, seja este uma irregularidade, problema na transmissão dos dados ou um hidrômetro com alta submedição. Inclusive o sistema tem o potencial de revelar erros de medição ocultos que dificilmente seria identificados em campo.

Através do sistema de identificação de anomalias esperamos um aumento de 100% na eficiência operacional em relação à análise de consumo e um ganho expressivo de assertividade na atuação de irregularidades. Dessa forma esperamos gerar um incremento de 20% na recuperação de receita (considerando volume medido e valor cobrado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ociepa-Kubicka A, Deska I, Ociepa E. Issues in Implementation of EU Regulations in Terms of Evaluation of Water Losses: Towards Energy Efficiency Optimization in Water Supply Systems. Energies. 2024; 17(3):633. https://doi.org/10.3390/en17030633

2. Vanderlei, J. G. R. (2023). Análise de dados comerciais para gestão de perdas de água e detecção de fraudes no município de Vitória de Santo Antão. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas.

3. N. K. Velayudhan, P. Pradeep, S. N. Rao, A. R. Devidas and M. V. Ramesh, "IoT-Enabled Water Distribution Systems—A Comparative Technological Review," in IEEE Access, vol. 10, pp. 101042-101070, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3208142.

4. Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons, 2015.