

# DIRETRIZES PARA CADASTRO TÉCNICO DE REDE PÚBLICAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM SERVIÇO PRIORITÁRIO NO BRASIL

*GUIDELINES FOR TECHNICAL REGISTRATION OF PUBLIC WATER DISTRIBUTION NETWORKS: A PRIORITY SERVICE IN BRAZIL*

Jeferson Marçal Soares 1  
Aymara Gracielly Nogueira Colen 2  
Fabrício Machado Silva 3

**Resumo:** Sabe-se que o cadastro técnico das redes públicas de distribuição de água emerge como uma prioridade crucial no saneamento básico no Brasil, sendo objeto de análise neste estudo. O artigo propõe uma investigação abrangente das diretrizes essenciais para este cadastro, evidenciando a interseção entre a evolução tecnológica e a gestão eficiente dos recursos hídricos. Destaca-se, principalmente, o papel fundamental das tecnologias emergentes, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto e a IoT (Internet das Coisas), na otimização dos processos de coleta, armazenamento, análise e apresentação de dados geoespaciais. O levantamento técnico bibliográfico sobre o cadastro de redes de distribuição de água consistiu na exploração dos requisitos fundamentais para a elaboração adequada e eficiente desse registro e as metodologias envolvidas em sua concepção. Este tipo de cadastro técnico vai além do saneamento básico, influenciando diretamente aspectos econômicos e hídricos, pois a ausência deste pode resultar em perdas significativas de recursos hídricos e financeiros, refletindo em custos elevados de manutenção e reparos emergenciais. A integração dessas tecnologias visa melhorar a eficiência operacional dos sistemas de distribuição de água, promovendo a preservação do recurso hídrico e do bem-estar da sociedade, bem como a gestão sustentável e o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

**Palavras-Chave:** Cadastro técnico. Saneamento básico. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Sensoriamento Remoto, IoT (Internet das Coisas).

**Abstract:** It is known that the technical registration of public water distribution networks emerges as a crucial priority in basic sanitation in Brazil, being the object of analysis in this study. The article proposes a comprehensive investigation of the essential guidelines for this registration, highlighting the intersection between technological evolution and the efficient management of water resources. Mainly highlighted is the fundamental role of emerging technologies, such as Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing and IoT (Internet of Things), in optimizing the processes of collection, storage, analysis and presentation of geospatial data. The technical bibliographic survey on the registration of water distribution networks consisted of exploring the fundamental requirements for the adequate and efficient preparation of this registration and the methodologies involved in its design. This type of technical registration goes beyond basic sanitation, directly influencing economic and water aspects, as the absence of this can result in significant losses of water and financial resource, resulting in high maintenance and emergency repair costs. The integration of these technologies aims to improve the operational efficiency of water distribution systems, promoting the preservation of water resources and the well-being of society, as well as sustainable management and socioeconomic and environmental development.

**Keywords:** Technical registration. Basic sanitation. Geographic Information Systems (GIS). Remote Sensing, IoT (Internet of Things).

1 - Acadêmico de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP, Palmas, TO. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1703993339509955>. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2214-706X>. E-mail: [eng.jeferson.ms@gmail.com](mailto:eng.jeferson.ms@gmail.com)

2 - Dr<sup>a</sup> Tecnologia Ambiental, Eng. Ambiental, Mestre AgroEnergia (Biomassa Residual do Agro(Industrial) e do Saneamento), Especialista Inovação Tecnológica. Professora e Pesquisadora do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1142902896675039>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7173-4680>. E-mail: [eng.colen@gmail.com](mailto:eng.colen@gmail.com)

3 - Dr. Tecnologia Ambiental, Eng. Civil, Ambiental, de Produção e de Segurança do Trabalho. Professor, Pesquisador e Coordenador do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0308861058772993>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-6659>. E-mail: [fabricao\\_amb@yahoo.com.br](mailto:fabricao_amb@yahoo.com.br)

## Introdução

O cenário contemporâneo do saneamento básico busca constante desenvolvimento e evolução tecnológica, para que se possa desempenhar um papel crucial na otimização de processos e eficiência operacional do setor.

Destaca-se assim, o cadastro técnico de redes públicas de distribuição de água, um serviço técnico e operacional de expressiva importância para registro das redes públicas de distribuição de água, pois repercute diretamente na econômica e na disponibilidade hídrica ofertada pelo meio ambiente.

Dentre diversas tecnologias emergentes, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) contribuem significativamente para aprimorar a gestão e a manutenção desses sistemas fundamentais de saneamento básico. Os SIGs oferecem uma abordagem integrada para coleta, armazenamento, análise e apresentação de dados geoespaciais, permitindo uma visualização detalhada da infraestrutura hídrica. A utilização de técnicas de modelagem computacional, ademais, como simulações hidráulicas avançadas, fornece *insights* precisos sobre o comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais, subsidiando decisões estratégicas e otimizando a distribuição de água. Além disso, a implementação de sensores e medidores inteligentes proporciona uma coleta de dados em tempo real por monitoramento contínuo do desempenho da rede e detecção precoce de potenciais falhas, uma identificação relevante.

De acordo com Camargo (1997), o departamento de cadastro técnico de uma empresa de saneamento é encarregado pela atualização e manutenção desses dados, utilizando informações geradas por outros setores, como projetos, obras, operação e manutenção. Além disso, é responsabilidade desse departamento garantir que as diferentes áreas da empresa tenham acesso às informações cadastrais.

A eficácia do cadastro técnico é fundamental para a preservação dos recursos naturais, garantindo o uso racional da água e prevenindo desperdícios. Uma gestão eficiente da distribuição de água, respaldada por um cadastro técnico, contribui para a sustentabilidade ambiental no sistema e assegura o atendimento às demandas crescentes da população.

A ausência de um cadastro técnico da rede de distribuição pode resultar em grandes perdas de recursos hídricos e financeiros, uma vez que a falta de informações precisas compromete a capacidade de planejamento e gestão adequada desses sistemas. Os impactos econômicos são evidentes, refletindo-se em custos elevados de manutenção, reparos emergenciais e, conseqüentemente, aumento nas tarifas de serviços, afetando diretamente os usuários finais. Importante ressaltar que a minimização de perdas de água é uma meta do país, haja vista promover a segurança hídrica.

Assim, esta pesquisa objetiva evidenciar as tecnologias disponíveis para efetivação e aprimoramento do cadastro técnico das redes públicas de distribuição de água no Brasil, também enfatizar a gestão sustentável dos recursos hídricos para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

## Metodologia

### Coleta de Informações e Dados Referenciais para Cadastro Técnico de RDA

O estudo consistiu em um levantamento técnico bibliográfico sobre o cadastro de redes de distribuição de água para explorar os requisitos fundamentais para a elaboração adequada desse registro, destacando a importância das tecnologias e metodologias envolvidas em sua concepção.

Para a coleta de informações e dados foram utilizados documentos contendo cadastros

técnicos, base científica eletrônico, *sites* especializados de órgãos governamentais do saneamento como IBGE, ANA, SNIS, dentre outros.

A elaboração do cadastro técnico de sistemas de abastecimento de água envolve a criação de plantas que incluem informações obtidas por meio de levantamentos de campo, abrangendo todas as estruturas e dispositivos do sistema. Segundo Coelho (2004), compõem o cadastro técnico a rede de distribuição de água, adutoras, limites de setores e unidades de negócios, peças e equipamentos hidráulicos, toponímias, curvas de nível e estrutura urbana, como quadras, lotes, logradouros e bairros.

## **Análise das Tecnologias de Redes Públicas de Distribuição de Água (RDA)**

Realizou-se uma análise sobre as tecnologias mais relevantes para a elaboração de um eficiente cadastro técnico de rede de distribuição de água e suas aplicações no setor. Por isso apresentou-se diretrizes utilizadas para sua implementação e gestão eficaz.

### **SIG - Geographic Information Systems**

Os SIGs conhecidos como Geographic Information Systems (GIS) em inglês, têm sido amplamente utilizados para armazenar, gerenciar, analisar e visualizar dados espaciais relacionados às redes de distribuição de água. Permitem uma integração eficiente de informações geográficas, como a localização de tubulações, das válvulas e conexões, facilitando a tomada de decisões e o planejamento de manutenções.

Devido a sua diversidade de aplicações, a definição de SIG pode ser dividida em três categorias, refletindo cada uma à sua maneira a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia (BURROUGH e McDONELL, 1988) (Quadro 1).

**Quadro 1.** Divisão de Categorias e Aplicações de SIG

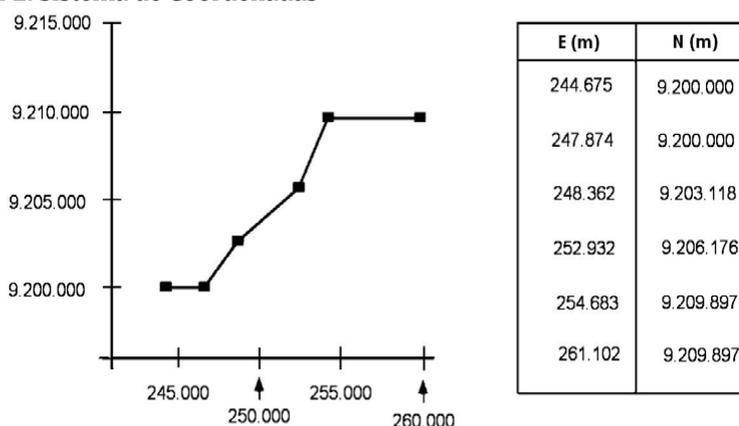
DEFINIÇÃO DE SIG POR CATEGORIA	MÚLTIPLOS USOS do SIG
Baseada em ferramentas: (BURROUGH, 1986)	Conjunto de técnicas e procedimentos capazes de coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real
Baseada em bancos de dados: (SMITH et al., 1987)	Banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais
Baseada em estruturas organizacionais: (COWEN, 1988)	Sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas

**Fonte:** BURROUGH e McDONEL (1988) (adaptado).

A posição espacial pode ser expressa através de coordenadas planas retangulares, como ilustrado na Figura 1. Nesse caso, as coordenadas no sistema UTM - Transversa Universal de Mercator, indicam a localização dos objetos em um plano de projeção cartográfica relativo à superfície terrestre (SÁ, 2001).

A necessidade de armazenar a geometria dos dados espaciais e seus componentes representa uma dualidade fundamental dos SIG. Conforme Aronoff (1989), um dado espacial representa um objeto ou fenômeno do mundo real em termos de sua posição geográfica em relação a um sistema de coordenadas, seus atributos, suas relações espaciais e o tempo.

**Figura 1.** Sistema de Coordenadas



Fonte: SÁ (2001).

Os atributos são dados que registram as características das entidades mapeadas, podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa, expressos numericamente ou em formato textual (BONHAM-CARTER, 1996).

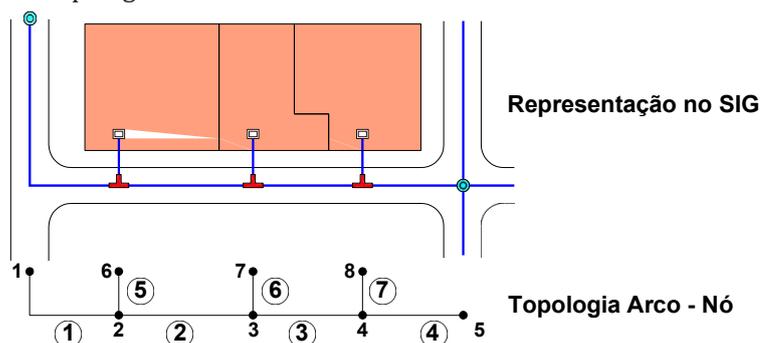
As relações espaciais são determinadas pela topologia. Além disso, aos dados espaciais está associada uma dimensão temporal, que expressa características temporais, sazonais ou periódicas dos objetos. Segundo Newell (1992), o aspecto temporal em SIG pode incluir três tipos de medida de tempo: instante de tempo, intervalo de tempo e relacionamentos envolvendo o tempo, como noções de antes, durante e depois.

## Topologia

Durante o processo de estabelecimento da topologia, as coordenadas dos nós, arcos e polígonos são armazenados em tabelas que informam ao computador sobre os relacionamentos entre essas entidades, o que possibilita a formulação de algoritmos para resolver diversos problemas (HARMON, 2003).

Os arcos numerados como 1, 5 e 2 convergem para o nó 3. O sistema reconhece que é possível seguir ao longo do arco 3 e, em seguida, passar para o arco 7, pois compartilham um nó comum, o nó 4. No entanto, não é possível o fluxo passar diretamente do arco 2 para o arco 7, pois não compartilham um nó em comum (GOODCHILD, 1993) (Figura 2; Quadro 2). Nesta topologia arco-nó um conjunto de pares de pontos, chamados de vértices, define a forma de um arco. Os pontos de início e fim do arco são conhecidos como nós, sendo que cada arco possui dois nós: um “nó de origem” e um “nó de destino”. Os arcos estão conectados apenas pelos seus nós. Ao analisar os arcos que se encontram em um determinado nó, o SIG pode identificar quais arcos estão interligados entre si (GOODCHILD, 1993).

**Figura 2.** Topologia Arco - Nó



Fonte: GOODCHILD (1993).

**Quadro 2.** Arco-Nó e Ordenamento de Coordenadas UMT

Lista Arco-Nó			Lista de Coordenadas		
ID-ARCO	DE-NÓ	PARA-NÓ	ID-NÓ	X	Y
1	1	2	1	6,5	5,5
2	2	3	2	7,3	5,2
3	3	4	3	8,5	5,2
4	4	5	4	9,5	5,2
5	2	6	5	10,4	6,3
6	3	7	6	7,3	5,5
7	4	8	7	8,5	5,5
			8	9,5	5,5

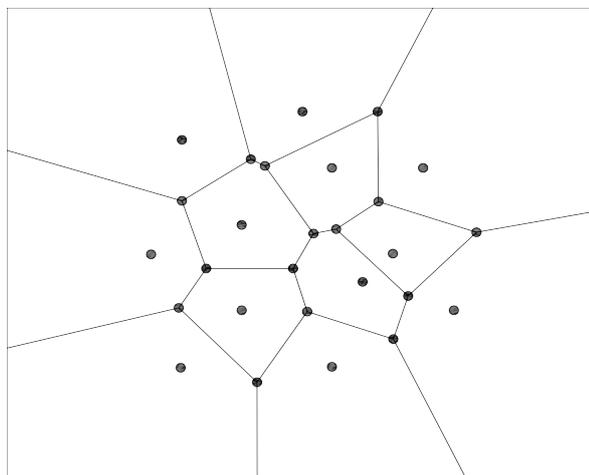
Fonte: GOODCHILD (1993).

## Diagrama de Voronoi

O princípio do diagrama de Voronoi é baseado na ideia de que, ao considerar um determinado território, existem pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra, resultando em polígonos cujas fronteiras representam as menores distâncias possíveis (MOURA, 2003) (Figura 3).

Essa abordagem permite responder de maneira eficiente a uma variedade de questões relacionadas à proximidade, como qual é o ponto mais próximo de um determinado local, qual é a maior região, quem é o vizinho mais próximo de uma determinada área, entre outras.

**Figura 3.** Diagrama de Voronoi com 12 Locais



Fonte: ANAND (2003).

## Sensoriamento Remoto e Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT), um acrônimo em inglês para *Internet of Things*, refere-se a uma rede de dispositivos inteligentes e objetos com sensores e atuadores integrados (ASHTON, 2009). Segundo Ashton, o termo “Internet das Coisas” foi mencionado pela primeira vez em 1999, durante uma apresentação que ele fez na empresa Procter & Gamble (P&G).

Durante os eventos da Future Internet Architecture (FIA), em 2010, houve esforços para desenvolvimento de vários projetos em IoT. A partir destas contribuições, um modelo de arquitetura em três camadas para IoT foi proposto por Wu et al. (2010). O principal objetivo da IoT é estender a conectividade da Internet para objetos presentes no mundo físico, criando um

ambiente inteligente que interliga coisas e pessoas.

Essa interligação pode ser compreendida em três partes fundamentais: objetos inteligentes, interoperabilidade e aplicações (ZHOU & ZHANG, 2014). O modelo básico da IoT consiste, de fato, em uma arquitetura de três camadas: a Camada de Percepção, a Camada de Rede e a Camada de Aplicação (KHAN et al., 2012; WU et al., 2010). Contudo, devido ao rápido desenvolvimento da IoT, uma arquitetura de cinco camadas foi sugerida, incluindo duas novas camadas: Camada de Processamento e Camada de Negócios (MASHAL et al., 2015).

## **Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs)**

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) são projetadas para monitorar a ocorrência de fenômenos específicos. Com a miniaturização dos componentes elétricos e sua disponibilidade a baixo custo, as redes de sensores sem fio têm sido amplamente empregadas no monitoramento remoto. Apresentam características que variam de acordo com suas aplicações, mas que, em termos gerais, incluem:

- a) a presença de um grande número de sensores distribuídos;
- b) poder computacional limitado;
- c) conexão de dispositivos heterogêneos;
- d) restrições no consumo de energia;
- e) restrições nos dados coletados, os quais são específicos e limitados em tamanho (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

## **Resultados e Discussão**

### **Aplicações de SIG em Companhias de Saneamento**

O gerenciamento de uma companhia de saneamento, assim como de uma empresa de infraestrutura, está diretamente ligado à eficiência operacional de suas redes (GREGÓRIO, 2001).

Para alcançar um gerenciamento eficaz, é essencial lidar com um grande volume de dados, a maioria dos quais tem uma componente espacial, ou seja, uma posição definida por um sistema de referência. Esses dados incluem informações sobre a infraestrutura instalada, o uso e ocupação do solo e a caracterização dos consumidores.

Nesse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) trouxeram uma nova perspectiva para as aplicações relacionadas à gestão urbana. Os gestores urbanos podem ter uma visão abrangente de suas áreas de atuação, visualizando áreas de interesse e realizando simulações e formulações a partir da integração e sobreposição de dados de diversas fontes. Isso orienta a tomada de decisões, o planejamento e a avaliação da eficácia das intervenções.

GOODCHILD (1993) destaca que a utilização e manutenção dos sistemas operacionais técnicos desenvolvidos para empresas de fornecimento de água tratada envolvem inovações tecnológicas e de gestão em várias etapas do processo operacional, incluindo a criação e operação de redes de água e esgoto, monitoramento de ligações domiciliares e planejamento de novas redes, entre outros.

FRANCO (2000) ressalta que o avanço da tecnologia, incluindo computadores, sistemas de gestão de banco de dados, sistemas de Informação Executiva (EIS), modelos de cálculo hidráulico, sistemas de aquisição e controle de dados (SCADA) e SIG, tem sido crucial para as empresas de saneamento modernizarem seus sistemas de gerenciamento.

A demanda por modernização, tanto na gestão administrativa quanto na operacional, levou ao uso das Tecnologias de Geoinformação, resultando em melhorias no relacionamento com os clientes, redução de custos de produção, distribuição e manutenção, otimização do planejamento e melhoria da qualidade da água tratada (FRANCO, 2000).

Um modelo do sistema é essencial para modernizar a gestão da empresa. A intuição e

experiência das equipes responsáveis pelo serviço são importantes, mas não são suficientes. Métodos adequados são necessários para realizar análises qualitativas e quantitativas sobre as repercussões das medidas tomadas e dos planos de ação adotados.

## **Tecnologias para Cadastro Técnico de Redes Públicas de Distribuição de Água (RDA)**

Nos últimos anos tem havido um avanço significativo no desenvolvimento de tecnologias voltadas para o cadastro técnico de redes públicas de distribuição de água, visando melhorar a eficiência, precisão e confiabilidade desses sistemas. Dentre as principais tecnologias, destacam-se:

### **Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

De acordo com GOODCHILD (1993), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se diferenciam dos sistemas CAD (Desenho Auxiliado por Computador), CAM (Mapeamento Auxiliado por Computador) e AM/FM (Mapeamento Automatizado / Gerenciamento de Instalações) por sua capacidade de estabelecer relações topológicas entre os elementos gráficos.

Assim, ao lidar com relações espaciais ou lógicas, os SIG têm a tendência de evoluir do descritivo para o prognóstico. Em vez de meramente descrever elementos ou fatos, podem desenvolver cenários e conduzir simulações com base em tendências observadas ou avaliações de condições estabelecidas (MOURA, 2003).

No contexto geográfico, GOODCHILD (1993) destaca duas abordagens para a observação da realidade: a visão de campos e a visão de objetos. Na representação através de campos, a realidade é modelada por variáveis que possuem uma distribuição contínua no espaço, tais como variações de temperatura em uma determinada área, características geológicas, precipitações, solos, entre outras. Todas essas variáveis, no espaço geográfico, estão associadas a algum valor correspondente à variável representada. Já na visão de objetos, a realidade é retratada por elementos com geometria e características próprias, como lotes em um cadastro urbano, malha viária ou postes em uma rede elétrica.

Devido à sua natureza multidisciplinar, os SIG têm tido sua aplicação ampliada e disseminada. São utilizados em diversas áreas, como geologia, hidrologia, agricultura, urbanismo e engenharias civil, de transportes e de minas. As aplicações estão relacionadas à intervenção humana no meio físico, em atividades cuja análise envolve a manipulação de mapas e dados (LAURINI e THOMPSON, 1992), como, por exemplo:

- Projeto de vias (rodovias, ferrovias, canais, etc.) de irrigação, de loteamentos, drenagem, dentre outros;
- Operação de redes de infraestrutura (água, esgoto, gás, telefone e eletricidade);
- Planejamento urbano, regional, agrícola ou de transporte análise espacial ambiental, geológica, urbana, regional e de transportes gerenciamento de processos agrícolas e de variados processos de distribuição e alocação;
- Monitoramento de processos ambientais, urbanos e regionais;
- Gerenciamento de redes de infraestrutura, equipamentos, dentre outros.

Na verdade, cada domínio adapta suas aplicações de forma altamente específica, respondendo às suas próprias exigências, o que resulta em abordagens distintas para problemas particulares. No entanto, todas essas aplicações compartilham uma estrutura tecnológica fundamental em SIG, que serve como base conceitual. Além disso, um SIG transcende a mera coleção de softwares, demandando um profundo entendimento da área de aplicação, da estrutura organizacional e da Modelagem de Dados Espaciais que será utilizada.

Gonçalves et al. (2007) recomendam a integração do cadastro técnico com o cadastro

comercial e a disponibilização da base de dados para os setores da empresa conforme suas necessidades específicas, destacando a importância da representação espacial desses dados em uma base cartográfica georreferenciada.

## Topologia Arco – Nó

O armazenamento voltado para a manutenção dos relacionamentos entre feições lineares e pontuais tem como objetivo resolver problemas em áreas de aplicação fundamentadas em estruturas de rede. Por exemplo, vias públicas e redes de abastecimento de água, eletricidade e telecomunicações podem ser representadas por essa estrutura.

Nesse formato vetorial, os elementos podem ser direcionados ou não, e estão associados a variáveis como distância, custo ou capacidade de fluxo. Da mesma forma, os nós estão ligados a equipamentos, derivações ou pontos de demanda por serviços (BURROUGH, 1998).

Schulz e Mclaughlin (1995) identificam os elementos mais relevantes em um sistema de abastecimento de água e propõem a maneira como as feições devem ser representadas no SIG, conforme demonstrado no Quadro 3.

**Quadro 3.** Elementos básicos de um Sistema de Abastecimento de Água e Representações

REPRESENTAÇÃO	COMPONENTE
Polígono ou Nó	Reservatório
Nó	Hidrante
Nó	Nó do modelo hidráulico
Arco	Tubo
Registro	Número do tubo
Nó	Válvula
Nó	Bomba
Polígono	Área de cobertura do abastecimento
Nó	Mudança de pressão

**Fonte:** SCHULZ E MCLAUGHLIN (1995) (adaptado).

Feinberg e Uhrick (1997) enfatizam a importância de uma metodologia para classificar os elementos do sistema de distribuição de água, bem como sua topologia e o tamanho da base de dados SIG. Eles destacam que, para facilitar as atividades de simulação, os elementos de um sistema de abastecimento de água devem estar conectados topologicamente. Além disso, mencionam a importância de seccionar as tubulações em locais hidráulicamente significativos, como:

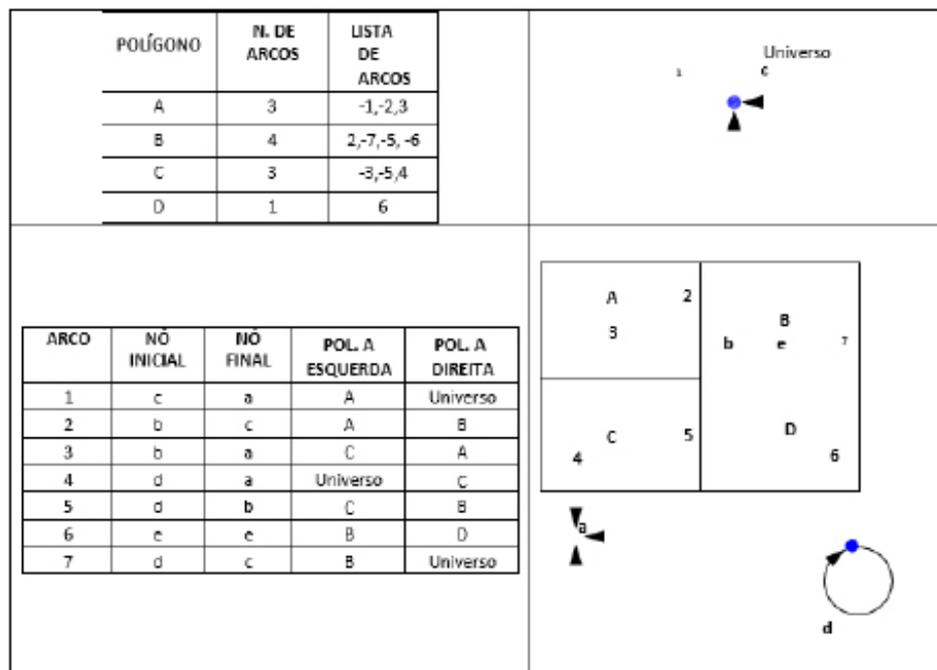
- Pontos de origem;
- Conexões com outros elementos;
- Dispositivos de controle de pressão e vazão;
- Mudanças de diâmetro da tubulação;
- Poços de visita; e
- Mudanças abruptas na direção da tubulação.

A Figura 4 ilustra o armazenamento de dados com topologia (MOREHOUSE, 1992). No primeiro quadro, são registrados, para cada polígono, o número total de arcos e a identificação dos arcos que compõem o polígono (com sinal positivo indicando o sentido da digitalização e negativo para o sentido oposto). Já no quadro a seguir registra, para cada arco, os nós inicial e

final, além dos polígonos que estão à direita e à esquerda do arco.

Nesse método, arcos adjacentes a dois polígonos são armazenados apenas uma vez no banco de dados. Assim, uma rede de abastecimento de água pode ser representada por uma estrutura topológica de arco-nó, onde os arcos representam as tubulações e os nós representam conexões, válvulas, medidores, entre outros (LIM; PRATT, 1997). Essa representação gráfica é então convertida em uma representação matemática, que por sua vez é utilizada na formulação de algoritmos.

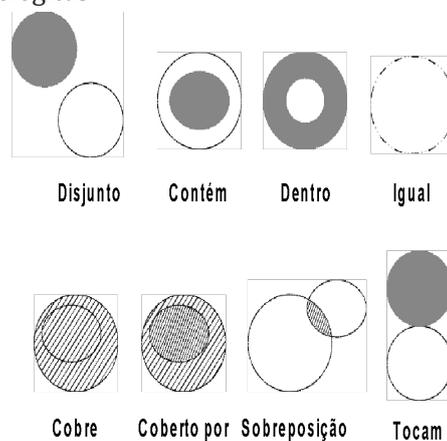
**Figura 4.** Armazenamento com Topologia



Fonte: MOREHOUSE (1992) (adaptado).

Baseado nessa estrutura, Egenhofer (1990) propôs oito tipos de relações entre entidades espaciais, a saber: disjuntas, tocam-se, iguais, uma dentro da outra, uma contendo a outra, uma cobrindo a outra, uma sendo coberta pela outra e sobreposição (Figura 5).

**Figura 5.** Relações Topológicas



Fonte: ENGENHOFER (1997) (adaptado).

Uma das características mais significativas dos SIG é sua habilidade em armazenar a topologia entre os objetos espaciais (ARONOFF, 1989). A topologia, tradicionalmente definida como o ramo da matemática que estuda as propriedades das relações geométricas dos elementos em um espaço não quantitativo, inclui conceitos como vizinhança, pertinência, conexão, inclusão e interseção (PEUQUET, 1990). Esses relacionamentos são fundamentais para viabilizar uma variedade de análises espaciais.

## Diagrama de Voronoi

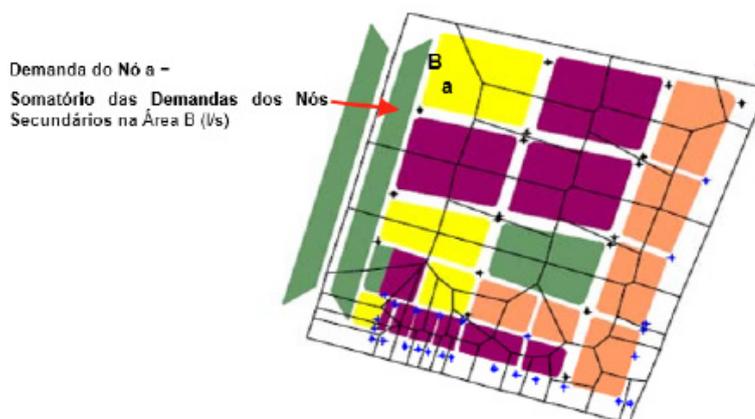
O diagrama de Voronoi possui uma variedade de aplicações em SIG, podendo ser utilizado sempre que a análise envolver consultas frequentes sobre a proximidade em relação a pontos de interesse. O procedimento para construir o diagrama de Voronoi foi realizado da seguinte forma (ANAND, 2003).

- Conectar cada ponto amostral ao seu vizinho mais próximo por meio de segmentos de reta;
- Construir perpendiculares bissetrizes nos segmentos de reta que conectam os pontos;
- Unir todas as bissetrizes nas retas que conectam os pontos;
- Unir as retas bissetrizes para formar o polígono que delimita a área de influência de cada ponto amostral.

Martínez-Solano et. al. (2002) já aplicaram o diagrama na área de saneamento como as áreas de influência dos nós principais de uma rede de distribuição de água são definidas utilizando essa técnica assim como apresentado na Figura 6.

Com base no conhecimento das demandas individuais de cada nó secundário, é possível calcular a demanda total para cada nó principal da rede, bem como sua respectiva área de influência, através da soma das demandas dos nós secundários dentro dessa área.

**Figura 6.** Áreas de Influência de Nós

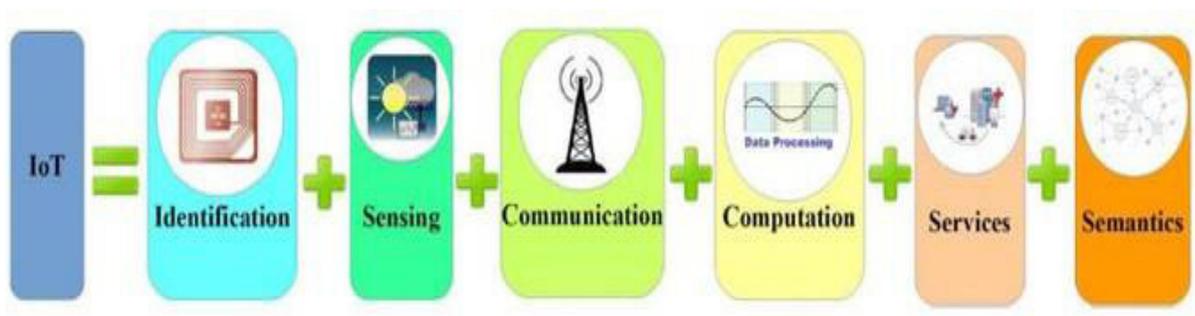


Fonte MARTÍNEZ-SOLANO et. al. (2002) (adaptado).

## Sensoriamento Remoto e Elementos aplicados à Internet das Coisas IoT

Seis tecnologias são amplamente utilizadas para a implantação de produtos baseados na Internet Das Coisas (IoT). A Figura 7 mostra os elementos que compõe a IoT segundo Al-Fuqaha et al. (2015).

**Figura 7.** Elementos da Internet das Coisas



Fonte: AL-FUQAHA et al. (2015).

- Identificação: Diversos métodos de identificação estão disponíveis para a IoT, como códigos de produtos eletrônicos (EPC) e códigos ubíquos (uCode). O endereçamento dos objetos IoT é necessário para diferenciar entre o ID do objeto e sua localização.
- Detecção/Sensoriamento: Significa reunir dados de objetos relacionados (coisas) dentro de uma rede de sensores e enviá-los para um banco de dados, *Data Warehouse* ou nuvem.
- Comunicação: As tecnologias de comunicação conectam objetos heterogêneos entre si, formando uma Rede de Sensores Sem Fio (WSN) e conecta esses a redes diversas, Internet ou Intranet, para fornecer serviços inteligentes específicos.
- Computação: As unidades de processamento (por exemplo, microcontroladores, microprocessadores) e aplicações de software representam a capacidade computacional da IoT. Várias plataformas foram desenvolvidas para executar aplicações IoT.
- Serviços: Em geral os serviços IoT podem ser classificados em quatro classes: serviços relacionados à identidade, serviços de agregação de informações, serviços de colaboração e serviços ubíquos.
- Semântica: Na IoT refere-se à capacidade de extrair conhecimento inteligentemente por diferentes máquinas para fornecer os serviços necessários. A extração de conhecimento inclui a descoberta, reconhecimento de padrões e análise de dados.

Mashal et al. (2015), afirmam que o modelo de arquitetura amplamente adotado em diversos projetos de sistemas IoT e o mais comum é o contem cinco camadas:

- Camada de Percepção: responsável pelos sensores e atuadores físicos da IoT, destinados a coletar e processar informações. Esta camada engloba sensores para medições como localização, temperatura, peso, movimento, vibração, aceleração, umidade, entre outros.
- Camada de Rede: encarregada de transferir os dados produzidos pela Camada de Percepção para a camada superior. Os dados podem ser transmitidos por meio de diversas tecnologias, tais como RFID, 3G, GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, infravermelho, Zigbee, etc.
- Camada de Processamento: permite que os desenvolvedores de aplicativos IoT trabalhem com objetos heterogêneos sem a necessidade de considerar uma plataforma específica. Essa camada processa os dados recebidos, toma decisões e oferece os serviços necessários.
- Camada de Aplicação: oferece os serviços solicitados pelos clientes. Por exemplo, pode fornecer medições de temperatura e umidade do ar ao cliente que solicita esses dados.
- Camada de Negócios: gerencia as atividades e serviços globais do sistema IoT. As responsabilidades desta camada incluem a construção de um modelo de negócios, gráficos, fluxogramas, etc., com base nos dados recebidos da camada de Aplicação.

## RSSFs - Redes de Sensores Sem Fio

Uma RSSF deve ser composta, no mínimo, por três elementos principais:

a) dispositivo de sensoriamento ou sensor, responsável por monitorar o fenômeno em questão;

b) observador, que pode ser um usuário final analisando o fenômeno, um sistema intermediário para capturar dados ou outro dispositivo sensor que utiliza os dados coletados para tomar decisões; e

c) o fenômeno em si, que é o objeto de estudo do observador.

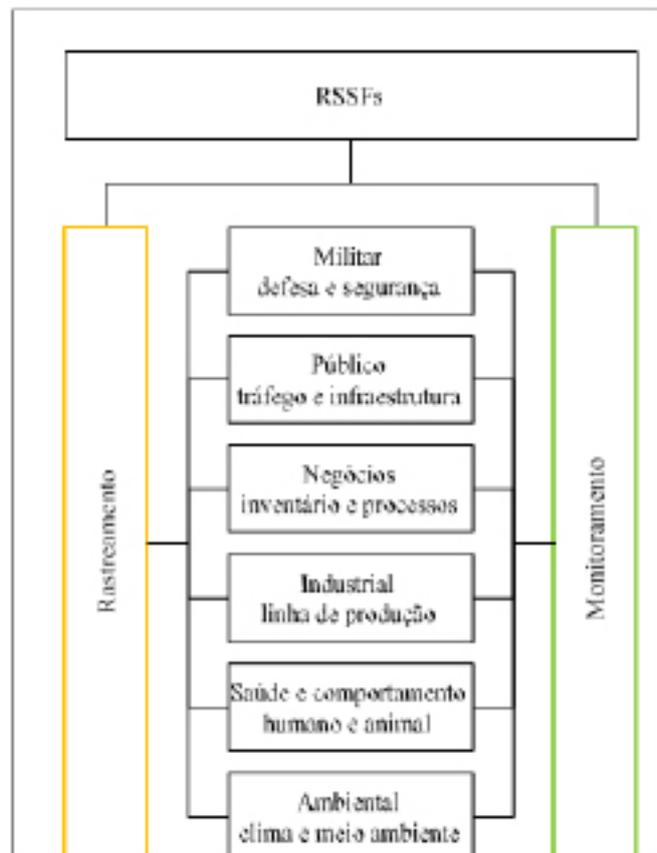
As aplicações das Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) podem ser agrupadas em duas categorias distintas e diferentes aplicações, assim como mostra a Figura 8.

a) Rastreamento, que abrange a monitorização de objetos em linhas de produção, processos de negócios, tráfego de pessoas e veículos, comportamento animal, entre outros; e

b) Monitoramento, que se refere à observação de variáveis ambientais, comportamento humano, incluindo padrões de consumo e interações sociais, desempenho de processos de negócios, questões de segurança e saúde humana.

Os avanços recentes na microeletrônica abriram caminho para o desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação, sistemas digitais embarcados e sensores de propósito geral, caracterizados por sua boa precisão e baixo custo. Uma rede de sensores pode se compor com vários dispositivos de baixo custo e consumo de energia, distribuídos e interconectados em uma rede. Estes sensores são capazes de perceber e medir informações ambientais e, com base em algum nível de processamento local, transmitir os dados através de uma rede de comunicação (SHARMA; THAKUR; KUMAR, 2013; YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

**Figura 8.** Visão geral das aplicações de RSSFs



**Fonte:** YICK; MUKHERJEE; GHOSAL (2008) (adaptado).

O uso de sensores remotos e dispositivos IoT tem revolucionado a coleta de dados em tempo real sobre o funcionamento das redes de distribuição de água. Esses dispositivos são capazes de monitorar parâmetros como pressão, vazão e qualidade da água, permitindo uma detecção precoce de vazamentos, falhas e anomalias no sistema.

### ***Sensoriamento Remoto e IOT - Internet das Coisas Aplicações ao Saneamento***

Borgia (2014) categoriza essas aplicações em três grandes domínios: industrial, de cidades inteligentes e de saúde e bem-estar. A autora ressalta que esses domínios não são isolados, havendo uma sobreposição parcial entre eles devido ao compartilhamento de algumas aplicações.

O Sensoriamento Remoto e a Internet das Coisas (IoT) têm uma variedade de aplicações em companhias de saneamento (Quadro 4), proporcionando soluções inovadoras para o monitoramento e gestão eficiente dos sistemas de água e esgoto.

**Quadro 4.** Sensoriamento Remoto e a Internet das Coisas (IoT) no Saneamento

APLICAÇÕES NO SANEAMENTO	SOLUÇÕES PARA GESTÃO E O MONITORAMENTO EFICIENTE DOS SISTEMAS DE ÁGUA E ESGOTO
Monitoramento de Qualidade da Água	Sensores IoT podem ser utilizados para monitorar continuamente a qualidade da água em diferentes pontos da rede de distribuição. Eles podem medir parâmetros como pH, turbidez, cloro residual, entre outros, permitindo uma detecção precoce de problemas de qualidade da água e garantindo conformidade com os padrões regulatórios
Detecção de Vazamentos	Sensores de pressão e vazão instalados em pontos estratégicos da rede podem detectar variações anormais no fluxo de água, indicando a presença de vazamentos. Algoritmos de análise de dados podem identificar padrões de consumo atípicos e enviar alertas em tempo real para que equipes de manutenção possam intervir prontamente
Monitoramento de Níveis em Reservatórios	Sensores de nível instalados em reservatórios e estações de bombeamento permitem monitorar os níveis de água em tempo real. Isso ajuda a otimizar o controle de estoque de água, evitar transbordamentos e garantir um suprimento adequado de água para a população
Gestão de Ativos	A IoT possibilita a implementação de sistemas de monitoramento de ativos, como bombas, válvulas e tubulações. Sensores de vibração, temperatura e umidade podem alertar sobre a necessidade de manutenção preventiva, prolongando a vida útil dos equipamentos e reduzindo custos operacionais
Previsão de Demanda	Com base em dados históricos de consumo e informações meteorológicas, algoritmos de análise de dados podem prever a demanda futura por água e otimizar a operação dos sistemas de distribuição, garantindo um abastecimento eficiente e minimizando desperdícios.

Gestão de Eventos Extremos	Sensores instalados em áreas de risco, como regiões suscetíveis a inundações ou deslizamentos de terra, podem monitorar continuamente as condições ambientais e alertar as autoridades competentes sobre a ocorrência de eventos extremos, permitindo uma resposta rápida e eficaz para minimizar danos e proteger a população
----------------------------	--

**Fonte:** BORGIA (2014).

Devido à sua capacidade dual de execução e detecção de situações, como a coleta de informações sobre fenômenos naturais e parâmetros médicos, a IoT demonstra vasto potencial para o desenvolvimento de novas aplicações inteligentes em diversos campos (BORGIA, 2014).

Em suma, o Sensoriamento Remoto e a IoT oferecem soluções inovadoras para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade dos sistemas de saneamento, proporcionando uma gestão mais inteligente e proativa dos recursos hídricos. Essas tecnologias têm o potencial de transformar a maneira como as companhias de saneamento operam e prestam serviços à população, contribuindo para uma melhor qualidade de vida e preservação do meio ambiente.

## Considerações Finais

O cadastro técnico de redes públicas de distribuição de água desempenha um papel crucial na garantia da eficiência, qualidade e sustentabilidade dos serviços de abastecimento de água no Brasil. Ao longo deste artigo, exploramos as tecnologias disponíveis e os próximos para aprimorar sua gestão.

As mudanças no papel do Estado e as tendências de privatização e competição no setor público estão levando as concessionárias de serviços públicos a buscar novas competências tecnológicas.

É evidente que o investimento em tecnologia, capacitação de profissionais e integração de dados são fundamentais para melhorar a qualidade e a eficácia do cadastro técnico. Além disso, a participação da comunidade e o monitoramento constante são essenciais para garantir a transparência, a responsabilidade e a eficiência dos sistemas de abastecimento de água.

A implementação das recomendações aqui apresentadas requer um esforço conjunto de governos, empresas de saneamento, instituições de pesquisa e sociedade civil. No entanto, é importante ressaltar que o sucesso do cadastro técnico não depende apenas de recursos financeiros e tecnológicos, mas também de um compromisso político e institucional para promover uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

E, o aprimoramento do cadastro técnico de redes públicas de distribuição de água não é apenas uma questão técnica, mas de saúde pública, desenvolvimento socioeconômico e preservação ambiental. Ao investir na melhoria desse cadastro, estamos investindo no bem-estar e na qualidade de vida de milhões de brasileiros.

## Referências

AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.

ANAND, S. **An efficient approach for Voronoi diagram construction using delaunay triangulation**. Indian Institute of Technology Bombay, Department of Computer Science and Engineering, Mumbai, 2003.

ASHTON, K. "That 'Internet of Things' Thing." **RFID Journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. **Oxford University Press**, Oxford, 1986.

BURROUGH, P. A.; McDONELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. **Oxford University Press**, Oxford, 1988.

CAMARGO, M. U. **Sistema de Informações Geográficas (SIG) como Instrumento de Gestão e Saneamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1551–1555, 1988.

EGENHOFER, M.J. A spatial query language for database operations. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v.16, n.10, p.965–986, 1990.

FEINBERG, E.B.; UHRICK, R.G. Integrating water distribution data within a geographic information system. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.123, n.2, p.79–86, 1997.

FRANCO, F. J. P. **Aplicações de um sistema de informação geográfica no gerenciamento da manutenção de redes de distribuição de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GONÇALVES, E.; LIMA, C. V.; ALVIM, P. R. **Guias práticos: Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

GOODCHILD, M. F. Geographic information systems. In: International Encyclopedia of Human Geography. **Elsevier**, Oxford, p.204–211, 2009.

GREGÓRIO, J. F. Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica em empresas de saneamento: O caso da Sanepar. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 20–24, 2001.

HARMON, R.S. Perspectives on Spatial Data Integration. In: GIS and Environmental Modeling: **Progress and Research Issues**. New York: John Wiley & Sons, p.65–77, 2003.

LAURINI, R.; THOMPSON, D. Fundamentals of Spatial Information Systems. **Academic Press**, London, 1992.

LIM, S.Y.; PRATT, M.J. **Introduction to Arc/Info: A Workbench for Geographic Information Systems**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1997.

MARTÍNEZ-SOLANO, F.J.; BÉJAR-PRADO, M.; DE MARCOS-ORTIZ, A. GIS as a management tool for municipal water supply and sanitation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.26, n.1, p.57–75, 2002.

MOREHOUSE, D. **Elementary Topology: A Combinatorial and Algebraic Approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.

MOURA, E.F. **Modelagem de sistemas de informações geográficas em ciências da terra**. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

NEWELL, J. A. Representing time in geographic information systems. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 19, n. 1, p. 17–33, 1992.

PEUQUET, D.J. **Representations of Space and Time**. New York: Guilford Press, 1990.

SÁ, E. P. **Topografia e geodésia: Complementos de fotogrametria e sensoriamento remoto**. Unesp, São Paulo, 2001.

SCHULZ, R.A.; McLAUGHLIN, P.J. Geographic information systems and utilities management: The Illinois experience. In: Proceedings of the Conference on Urban Water Infrastructure, New York, 1995.

SHARMA, R. K.; THAKUR, A.; KUMAR, P. "Wireless sensor networks: a survey." **International Journal of Computer Science & Engineering Survey**, v. 4, n. 3, p. 1-33, 2013.

SMITH, K. C.; SHERMAN, R. M.; DEWEY, J. F. **Geology of the San Francisco Bay Region**. California Division of Mines and Geology Bulletin, n. 201, 1987.

WU, M., LU, T. J., LING, Y., & MA, M. (2010). Research of architecture model of Internet of Things. **In 2010 International Conference on Networking and Digital Society (ICNDS)** (pp. 368-371). IEEE.

YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. "Wireless sensor network survey." **Computer Networks**, v. 52, n. 12, p. 2292-2330, 2008.

ZHOU, J., & ZHANG, D. (2014). "Research on the architecture and key technologies of internet of things (IoT)." **In International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)** (pp. 1-6). IEEE.

Recebido em 6 de dezembro de 2024.

Aceito em 16 de dezembro de 2024.