**TÍTULO**

**Gestão de recursos hídricos: utilizando IoT e Big Data para cálculo de indicadores**

**RESUMO**

A água é um dos recursos fundamentais para a sobrevivência da humanidade e é no contexto das bacias hidrográficas que se percebe a escassez e a degradação do seu uso, seja pela ausência ou diminuição da precipitação decorrente da chuva, da utilização inadequada ou pela devolução desse bem ao meio ambiente sem o tratamento devido, entre outros. Um dos fatores importantes para que esse bem esteja disponível na quantidade e qualidade adequada é a capacidade de gestão e governança dos recursos hídricos. Nesse caso, o processo decisório deve ser baseado em informação e não somente na intuição. Assim, o uso de indicadores é essencial e não menos importante é a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), principalmente IoT e Big Data, para auxiliar na coleta de informações e no cálculo dos indicadores. Assim, esse trabalho tem como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e exemplificar como o Índice de Qualidade a Água pode ser obtido com a utilização de TIC como IoT e Big Data. O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, de caráter qualitativo e quantitativo, com abordagem prescritiva, uma vez que busca observar maneiras diferentes de avaliar como os conceitos envolvidos se integram e se complementam. Como resultado, pretende-se apresentar uma relação de indicadores úteis para a gestão de recursos hídricos e mostrar como as TIC, principalmente IoT e Big Data, podem auxiliar na coleta de informações e no cálculo.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos; IoT; Big Data, Indicadores.

1. **INTRODUÇÃO**

A água é um dos recursos fundamentais para a sobrevivência da humanidade e é no contexto das bacias hidrográficas que se percebe a escassez e a degradação do seu uso, seja pela ausência ou diminuição da precipitação decorrente da chuva, da utilização inadequada ou pela devolução desse bem ao meio ambiente sem o tratamento devido.

Para Porto e Porto (2008)

A bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos. [...] Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO; PORTO, 2008, p. 45).

Segundo Porto e Porto (2008) uma bacia hidrográfica engloba as áreas urbanas, industriais, agrícolas e de preservação e pode ser considerada um sistema que possui a precipitação da água da chuva como entrada e como saída a água que decorre do exutório no delineamento de bacias e sub-bacias interconectadas pelos sistemas hídricos.

Bacia hidrográfica refere-se à área de terra drenada por um rio e seus afluentes. Na parte mais alta do terreno, considerado como limite geográfico, da bacia estão as vertentes, ou os divisores topográficos, que orientam o escoamento e influenciam o volume de águas e de sedimentos transportados; delimitada inferiormente está a saída da bacia, confluência para um rio principal ou exutório (TOMAZ, 2006).

Dentre os bens comuns ameaçados, a água desponta como principal recurso cercado de incertezas quanto à sua sustentabilidade. A questão fundamental não está ligada à disponibilidade e nem à capacidade tecnológica de tratamento, mas sim à complexidade, efetividade e aplicabilidade dos instrumentos de gestão e governança dos recursos hídricos (CHAFFIN et al., 2016), cujos instrumentos devem abranger, além dos fatores climáticos e ambientais, o ciclo de vida da água, ou seja, geração por meio de ciclos hidrológicos naturais, retenção e armazenamento, captação, tratamento, distribuição, consumo pelos diversos atores, sejam os consumidores pessoas físicas ou jurídicas, e tratamento e devolução para a natureza para reúso urbano ou rural.

A segurança hídrica ocorre, portanto, quando da perspectiva do espaço territorial trata-se de garantir que certa quantidade de água chegue ao conjunto de consumidores na qualidade, volume e com a continuidade adequada para a manutenção da vida (GLEICK; ICELAND, 2018).

Para Soares et al (2011), a definição de políticas e estratégias de ação, precede de diagnósticos, quando problemas são convertidos em indicadores, facilitando a sua compreensão e o processo de tomada de decisão. Os indicadores devem ser utilizados no contexto da gestão dos recursos hídricos.

Um indicador pode ser definido como

[...] uma medida que resume informações importantes sobre determinado fenômeno. A ideia é que aquilo que está sendo efetivamente medido tenha significado maior do que simplesmente o valor associado a essa medição.

[...] um dado torna-se um indicador quando sua compreensão ultrapassa o número, a mensuração, no sentido de adquirir significado através da informação interpretada (MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI Jr, 2012, p. 35).

Magalhães e Barp (2014) fazem uma colocação interessante quando afirmam que

A gestão integrada de bacias hidrográficas, em particular a gestão da água, se sustenta especialmente na capacidade das organizações públicas e privadas de tomar decisões e desenhar estratégias para alcançar objetivos pré-determinados por e para um grupo relativamente grande de atores que dependem e compartilham um mesmo recurso e território. As decisões do grupo de gestão, materializadas em estratégias de ação, se apresentam na forma de planos (MAGALHÃES; BARP, 2014, p. 201).

Quando se fala em processo decisório é fundamental que a decisão seja baseada em informação e não somente na intuição. Nesse caso, o uso de indicadores é essencial e não menos importante é a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para auxiliar no seu cálculo. Assim, as TIC podem contribuir consideravelmente, principalmente as emergentes, como é o caso da Internet das Coisas (IoT) e do Big Data.

Para Whitmore (2014), o IoT representa uma evolução de tecnologias já existentes, propondo conectá-las a dispositivos do dia a dia e disponibilizá-las online, mesmo que não tenham sido projetadas com esse intuito, podendo assim, tornar esses dispositivos diretamente acessíveis através da internet.

Para calcular os indicadores que podem auxiliar na gestão dos recursos hídricos, IoT pode ser útil ao permitir coletar rapidamente informações, ainda mais pensando na extensão de uma bacia hidrográfica, uma vez que muitas delas utilizadas para cálculo dos indicadores estão dispersos em vários pontos da extensão da bacia.

Já Big Data é um conceito que permite processar um conjunto muito grande de informações, por exemplo os coletados pelo IoT, e dele extrair valor diminuindo o uso da intuição no processo de tomada de decisão.

Macafee e Brynjolfsson (2012), afirmam que Big Data tem potencial para transformar instituições trazendo-lhes oportunidades e vantagens ao poder medir e gerenciar de modo mais preciso, ao fazer previsões melhores e tomar decisões mais inteligentes, sem a necessidade de se utilizar da intuição, uma vez que decisões apoiadas em evidências são mais assertivas.

Desse modo, pensando na quantidade de atores envolvidos - sejam humanos ou não, pessoas físicas ou jurídicas, empresas públicas ou privadas - e de informações existentes e produzidas no contexto das bacias hidrográficas e na importância de ter indicadores que retratem fielmente determinada situação para auxiliar na gestão dos recursos hídricos, um questionamento pode ser feito é como Big Data e IoT podem ser utilizados para auxiliar no cálculo desses indicadores?

Com este questionamento, entende-se que o uso de TIC, principalmente IoT e Big Data, pode agilizar o processo de coleta de informações e cálculo de indicadores com maior rapidez e segurança, de modo a melhorar o processo decisório na gestão dos recursos hídricos.

Assim, esse trabalho tem como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e exemplificar como o Índice de Qualidade a Água pode ser obtido com a utilização de TIC como IoT e Big Data.

1. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 
   1. **Gestão de recursos hídricos**

Santin e Goellner (2013) introduzem ao tema de gestão de recursos hídricos afirmando que com o crescimento de centros urbanos os problemas ambientais aumentaram em um ritmo acelerado, trazendo perda ecológica considerável, uma vez que aumentaram proporcionalmente o consumo e a exploração dos recursos naturais. Dentre estes recursos explorados, os recursos hídricos estão em destaque, se tornando um tema amplamente discutido por estar sendo usado de forma descontrolada por diversos setores da sociedade com o intuito de atender à demanda da população urbana. Além disso, o fato de a utilização da água ser necessária em diferentes setores, como agricultura e indústrias, tem causado a contaminação proveniente de poluição e descarte irregular, o que não afeta os recursos hídricos só em quantidade, devido à sua escassez e esgotabilidade, mas em qualidade para o consumo, o que tem gerado grande preocupação.

De acordo com Miranda (2012), o recurso água, embora essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos, é finito e escasso. Além do fator de sobrevivência, o desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade coopera para o surgimento de atividades que demandam grande quantidade de água, e esta situação só aumenta com a cultura consumista presente atualmente.

As autoras Santin et al (2013) complementam ao afirmar que dentre os danos causados está a contaminação dos recursos hídricos, que está relacionada a setores como a indústria, a agricultura, o abastecimento, a pecuária e diversos outros o que tem causado grande preocupação e se tornado pauta de discussões, uma vez que este recurso é finito.

Miranda (2012) acrescenta que outro fator importante é o crescimento exponencial de pessoas nos centros urbanos o que contribui para uma demanda ainda maior de água, acompanhada de práticas de desperdício provenientes da falta de conscientização, grande quantidade de poluição e toxinas presentes nas cidades e o acesso limitado à água potável e saneamento básico para toda a população o que leva à escassez da água, que afeta diretamente a saúde, economia e meio ambiente como todo.

De acordo com Porto e Porto (2008) uma gestão sustentável dos recursos hídricos exige a utilização de um conjunto mínimo de instrumentos, sendo eles uma base de dados e informações essenciais, conhecimento sobre os direitos de uso, o controle dos impactos sobre os recursos hídricos e o processo de tomada de decisão.

Porto e Porto (2008) afirmam que,

Em termos práticos, os sistemas de gestão dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender às expectativas e aos desejos da comunidade, nos limites impostos pela aptidão natural das bacias hidrográficas, seja na perspectiva mais utilitarista seja para o atendimento de objetivos de preservação ambiental, idealmente na medida equilibrada que é requerida para a garantia da sustentabilidade, no médio e no longo prazos (PORTO e PORTO 2008, p. 8).

Schmitz e Bittencourt (2017) dizem que certos comitês de bacias hidrográficas têm tornado constante a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, devido à escassez do mesmo e projeções futuras negativas, o que tem gerado um processo de implementação de melhorias na gestão de águas. Estas implementações também têm avançado na região do estado de São Paulo, que tem grande importância econômica devido a presença dos comitês das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), Paraíba do Sul (PBS), Alto Tietê (AT) e Sorocaba e Médio Tietê (SMT).

A gestão de recursos hídricos se encontra no contexto de uma bacia hidrográfica onde o ponto principal é existir água suficiente para suprir as necessidades dos habitantes, tanto de consumo quanto para a prática de atividades na sociedade.

De acordo com Magalhães e Barp (2014), a gestão da água no contexto de bacias hidrográficas se baseia principalmente na capacidade de organizações públicas e privadas de realizarem planejamentos, estratégias e o processo de tomada de decisão, com o objetivo de suprir aos atores previamente determinados que dependem e compartilham um mesmo recurso e território. Por ser um recurso compartilhado por diversos setores, é necessário que esteja sob um regime complexo de utilização e jurisdição que tem evoluído com o passar do tempo.

Magalhães e Barp (2014) apontam que,

É importante destacar os fundamentos da gestão da água, onde a visão sistêmica das funções gerenciais (planejamento, organização, direção e avaliação) integra uma visão mais abrangente, sendo, o processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento dos recursos hídricos para maximizar o resultado econômico e social de forma eqüitativa sem comprometer a sustentabilidade vital dos ecossistemas. Ela é integrada, pois, une a terra e a água; bacia hidrográfica e ambiente costeiro; águas superficiais e subterrâneas; quantidade e qualidade da água; montante e jusante; desenvolvimento econômico, social, humano e institucional; todos os elementos da água no meio urbano e visão integrada dos efeitos econômicos da cadeia produtiva da água; engenharia, economia, meio ambiente, aspecto social e eficiência. (MAGALHÃES E BARP 2014. p.204).

Almeida e Brito (2002) dizem que os recursos hídricos são um elemento fundamental para o desenvolvimento equilibrado de qualquer região, mas que sua gestão é de grande complexidade sendo, o que demanda análise e planejamento, numa perspectiva integrada e tendo em consideração horizontes temporais de curto, médio e longo prazo levando em conta soluções para os problemas presentes e futuros do recurso água e garantindo a satisfação das necessidades de água para as diversas atividades da sociedade, de modo a também preservar os recursos e agir de forma sustentável.

Nesse caso, para a gestão de recursos hídricos de modo eficiente e eficaz, de modo que haja disponibilidade hídrica para que os seres que dependam da água para sobrevivência e desenvolvimento das suas atividades produtivas, é fundamental possuir informações e subsídios para auxiliar o processo decisório.

Mizutani e Conti (2020) complementam ao afirmar que para a orientação dos gestores no processo de tomada de decisões, são necessárias concepções teóricas por meio do uso de indicadores que geram informações úteis necessárias.

* 1. **Importância dos Indicadores**

Dias (2018) explica que os indicadores são ferramentas de obtenção de informação com o principal objetivo de sintetizá-las de forma simples, lógica e clara para que seja informativa e facilite o entendimento do gestor. Um indicador é caracterizado pelo conjunto de informações fornecidas sobre determinada realidade, com índices mensuráveis e com valores de referência padrão que tornam situações mensuráveis.

Silva e Luvizotto(1999), afirmam que um indicador de gestão se caracteriza pela demonstração do nível de uma atividade em determinada área em certo período de tempo, o que permite comparações e análises que auxiliam na tomada de decisão.

De acordo com Mizutani et al (2020), o uso de indicadores possibilita a transformação de dados em informações mensuráveis, com o objetivo de torná-los acessíveis para a utilização. A forma de medir, portanto, permite a redefinição pela tangibilidade do conceito, o que auxilia na determinação de políticas e no processo de avaliação de desempenho.

Chaves et al (2020) apontam que indicadores podem ser classificados em três categorias distintas, os indicadores descritivos, que utilizam de dados diretos e sem uma especificação prévia de uso, os indicadores de desempenho, que geram a informação mais com o objetivo de demonstrar o progresso ou buscando atingir determinada meta, e os indicadores compostos que geram informações mais completas e detalhadas de avaliação de desempenho, que se propõe a transmitir informações de forma mais geral, abrangendo diferentes públicos.

Mizutani e Conti (2020) dizem que o principal uso de indicadores de se dá por disponibilizar informações de forma unificada, para que se tornem mais fáceis de serem compreendidas.

Chaves et al (2020) complementam ao dizerem que o uso de diferentes tipos de indicadores é um ponto positivo, de acordo com os objetivos almejados, amplitude, disponibilidade e viabilidade de levantar os dados propostos.

Almeida e Brito (2002) acrescentam que um indicador deve ser caracterizado pela relevância dos dados apresentados, que devem ser de fácil compreensão, consistência em suas informações e com base em termos técnicos e científicos, e por fim mensuráveis e passíveis de monitoramento regular.

Neto et al (2009) afirmam que a importância dos indicadores ambientais se encontra na possibilidade de utilizá-los para avaliar a evolução, uma vez que são parâmetros representativos e simples de interpretar, usados para demonstrar as características de certa região.

Neto et al (2009) acrescentam que

[...] O conjunto de indicadores ambientais servirá para propiciar um melhor aproveitamento dos recursos naturais e também para indicação de medidas preventivas de degradação ambiental e consequentes prejuízos econômicos para a sua reparação [...] (NETO et al 2009, p. 2).

Também é abordado por Libânio et al (2005) que em muitas situações, os indicadores de saneamento apresentam certa correlação com os indicadores que demonstram as condições de vida das populações, como os indicadores de desenvolvimento social, índice de mortalidade e morbidade por doenças parasitárias e infecciosas de veiculação hídrica.

Silva et al (2012) expõe sobre indicadores de sustentabilidade que,

[...] servem para auxiliar os tomadores de decisão a compreender melhor, em termos operacionais, o que o conceito de desenvolvimento sustentável significa, funcionando como ferramentas de explicação pedagógicas e educacionais, para auxiliar na escolha de alternativas políticas, direcionado para metas relativas à sustentabilidade, tendo em vista que as ferramentas fornecem um senso de direção para os tomadores de decisão e, quando escolhem entre alternativas de ação, funcionam como ferramentas de planejamento;e,por fim, para avaliar o grau de sucesso no alcance das metas estabelecidas referentes ao desenvolvimento sustentável, sendo,essas medidas,ferramentas de avaliação [...] (SILVA et al 2012, p. 79).

Sugahara et al (2020) acrescenta que “ao desenvolver e aplicar indicadores de sustentabilidade, esses devem considerar as particularidades de uma região, do contrário, eles estarão sujeitos à ineficácia ou comprometimento do processo de tomada de decisão” (SUGAHARA et al, 2020, p. 3).

Dias (2018) complementa ao dizer que em relação à gestão dos recursos hídricos, os indicadores utilizados são específicos para que abranjam todas as condições levadas em consideração no processo de abastecimento, consumo e tratamento da água.

* 1. **Indicadores para gestão de recursos hídricos**

De acordo com Sugahara et al (2020), os indicadores e índices adotados são extremamente importantes para gestores de recursos hídricos pois facilitam a compreensão dos mesmos, dando suporte através de valores padrão, para que dessa forma possam avaliar a situação e tomar decisões com a criação de planos de melhoria.

Morais e Filho (2000) dizem que a situação de muitos rios, lagoas e praias brasileiras é crítica, levando em conta a contaminação e poluição, o que dificulta os usos econômicos como distribuição voltada à agropecuária, abastecimento urbano e industrial, o que torna indispensável formas de conservação dos recursos hídricos, para garantir a quantidade e a qualidade da água, o que implica na utilização de indicadores para análise.

Miranda (2012) pontua que

[...] a crescente a preocupação por formas de mitigar os danos, a fim de se obter condições ideais para os seus múltiplos usos. Assim, surge a necessidade da gestão dos recursos hídricos para controlar o estado ambiental dos mesmos. Essa visa elaborar princípios e diretrizes a fim de controlar os usos buscando sua proteção e conservação. Deve ainda ser acompanhada de maneira sistêmica, a fim de se compreender a problemática de modo global. Durante o processo de gestão de recursos hídricos deve existir uma base legal e institucional e instrumentos de planejamento. Tais instrumentos são relacionados ao planejamento, controle e monitoramento das águas, à participação da sociedade civil nas tomadas de decisões e ao financiamento de projetos para sua recuperação, proteção e conservação [...] (MIRANDA 2012, p. 16).

Miranda (2012) diz que a gestão dos recursos hídricos funciona para que haja o controle de ações e intervenções com o intuito de diminuir os impactos negativos nas águas, além de poupar este recurso finito, através de planejamento e uso de indicadores que oferecem subsídio aos gestores através de medidas, facilitando a avaliação do recurso água.

Em relação à gestão dos recursos hídricos destacam-se alguns indicadores como drenagem e presença de resíduos sólidos, relação dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (LIBÂNIO et al, 2005).

Libânio et al (2005) complementam ao afirmar que a relação entre o serviço de saneamento e de meio ambiente e o quadro epidemiológico é identificada na Lei 8.080/90 que consideram condições como alguns dos fatores diretamente ligados à saúde pública, e que, portanto, devem ser levados em conta nos indicadores para a gestão de recursos hídricos.

De acordo com o Relatório Final do Plano de Bacias 2020 a 2035, alguns dos indicadores utilizados para a gestão dos recursos hídricos, no contexto das Bacias PCJ, são a capacidade máxima de tratamento, vazão média captada, capacidade máxima de captação (m³/s) e máximas distribuídas, o processo predominante de tratamento, latitude e longitude, quantidade de afluentes, corpo receptor, demanda para irrigação na área de agropecuária (incluindo o tipo de animal), qualidade da água entre outros.

De acordo com Trojan (2012), um parâmetro importante se dá pela medição de vazão para auxiliar no controle de perda de água, incluindo a medição de comprimentos de tubulações, e controle de fluxo de água, com base em padrões adotados e, dessa forma, auxiliar na manutenção.

Ferraz et al (1998), contextualizam o tema apontando que é importante a utilização de indicadores de consumo industrial, que utilizam da água como fonte de captação e lançamento urbano para uma boa gestão dos recursos hídricos. Além disso, Trojan (2012) aponta a importância de observar cargas poluidoras provenientes de indústrias.

Chaves et al (2020) também apresentam outros indicadores que são úteis na gestão dos recursos hídricos, como a taxa geométrica de crescimento anual, erosão, escorregamento e assoreamento, demanda de água, contaminação ambiental, efluentes de indústrias e sanitários, responsabilidade social e desenvolvimento humano, população, doenças de veiculação hídrica, danos ambientais, qualidade das águas (superficiais e subterrâneas), disponibilidade de água, enchente e estiagem, coleta e disposição de resíduos, coleta e tratamento de efluentes, melhoria do sistema de tratamento, áreas protegidas, outorga do uso da água, controle de contaminação ambiental, infraestrutura e saneamento. Todos os indicadores apresentados são relacionados aos critérios Gibson e baseados no Plano de Bacia PCJ.

Almeida e Brito (2002) demonstraram alguns indicadores usados no Plano Regional da água dos Açores, divididos nas categorias Abastecimento de água, qualidade da água, recursos naturais, riscos naturais, ordenamento do domínio hídrico e do território, quadro institucional e normativo, regime econômico e financeiro, informação e participação do cidadão e por fim o conhecimento. Dentre estas categorias, alguns dos indicadores presentes que seriam úteis para a gestão dos recursos hídricos são exploração das reservas, captação de água por tipo de consumidor, consumo total de água, consumo de água doméstico por habitante, consumo de água na indústria, consumo de água na agropecuária por animal, consumo de água na produção de energia hidroelétrica por kWh, qualidade das águas (superficiais e subterrâneas), produção de águas residuais industriais, densidade populacional, ocorrências de cheias, inundações, deslizamentos ou alagamentos, produção de resíduos urbanos, produção de resíduos industriais, vazadouros não controlados e descargas acidentais de hidrocarbonetos.

Fernandes (2006), diz que outro ponto importante que deve ser levado em consideração no processo de reuso e tratamento é o controle de qualidade da água, pois, através de padrões adotados e a análise da água apresentada é possível estabelecer tratamentos específicos recomendados, além de análise de custos de capital, operação e manutenção relacionados.

Glória et al (2017) dizem que o monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos é uma excelente forma de avaliar a oferta hídrica e subsidiar os gestores na tomada de decisões a respeito do aproveitamento múltiplo e integrado da água, incluindo a preocupação com a minimização de impactos ao meio ambiente.

Os indicadores qualitativos utilizados para a gestão dos recursos hídricos são essenciais para determinar melhores e mais específicos tratamentos da água, além de prevenir doenças transmitidas pela água distribuídas para o consumo nas cidades, indústrias e agricultura.

Nesta breve descrição, percebe-se que existem inúmeros indicadores que podem ser úteis para fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos.

No sentido de exemplificar e mostrar como IoT e BIG Data podem contribuir na coleta de dados e análise, será utilizado o Índice de Qualidade da Água (IQA) que é composto por vários parâmetros

De acordo com Glória et al (2017),

O termo “qualidade de água” não trata apenas o estado de pureza da mesma, mas sim às características físicas, químicas e biológicas e, dependendo destas características, são determinados diversos destinos para a água. A qualidade da água de um determinado recurso hídrico é avaliada dependendo das substâncias presentes na água, para isso denominada de parâmetros de qualidade da água[...](GLÓRIA et al 2017, p. 3).

Almeida e Schwarzbold (2003) explicam que existe o chamado Índice de Qualidade de Água (IQA), desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta com objetivo de disponibilizá-la para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos, aplicado utilizando nove variáveis consideradas mais relevantes para a determinação de qualidade, sendo eles oxigênio dissolvido (%), coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, turbidez, sólidos totais e temperatura), as quais foram determinadas curvas de qualidade e pesos relativos, que atribuem uma nota de qualidade referente aos valores das variáveis analisadas.

Lopes e Júnior (2010) descrevem o índice como uma média ponderada em que o resultado de múltiplos testes é representado em um único valor de 0 a 100. Este índice é utilizado como ferramenta de avaliação da qualidade das águas, podendo ser aplicado em diversos pontos de rios e lagos durante o curso de água ao longo do tempo, permitindo a comparação entre eles. O Índice de Qualidade da água é utilizado pela CETESB desde 1975 no Brasil, após uma adaptação do original adotado pela National Sanitation Foundation (NSF).

Almeida e Schwarzbold (2003) descrevem a fórmula utilizada para cálculo do valor do IQA como:

**IQA = Πn qiwi**

**i = 1**

Nesta fórmula:

IQA - Índice de Qualidade da Água que varia de 0 a 100;

qi - qualidade relativa do parâmetro i-ésimo, obtido através da curva média de cada parâmetro;

wi - é o peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade;

n - número de parâmetros (n = 9, devido aos nove parâmetros utilizados).

Fernandes (2006) aponta que há padrões ambientais e microbiológicos para o lançamento de efluentes dos corpos d’água do Brasil destinados à inúmeras atividades da sociedade que são definidos pela Resolução CONAMA 357/05 e que a Portaria 05/89-SSMA estabelece padrões de emissão dos efluentes líquidos utilizados para observar as fontes poluidoras. Dentre os parâmetros citados estão temperatura, sólidos dissolvidos e sedimentares, medição do PH da água, turbidez, gases e substâncias, a quantidade de oxigênio dissolvido e coloração da água.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 357/05 (2005), a demanda bioquímica de oxigênio para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2 e 3 não devem ser superiores a 3 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L, respectivamente, uma vez que este aumento ter relação direta com despejos de esgotos que aumenta o teor de matéria orgânica, o que diminui oxigênio dissolvido por oxidação, e causa a morte de animais que habitam estas regiões, além de alterar tanto o cheiro quanto o sabor da água (CETESB, 2009).

Também é descrito pela Resolução CONAMA N° 357/05 (2005) que a turbidez recebe o parâmetro de turbidez até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para ser enquadrado em um corpo hídrico de Classe 1. De acordo com a CETESB (2009), a turbidez é uma atenuação que sofre um feixe de luz ao atravessar uma amostra. Esta atenuação ocorre em função do material particulado em suspensão eventualmente existente na amostra, na qual a principal fonte de turbidez é o material particulado dos solos, em especial em estações chuvosas que causam o deslizamento de sedimentos aos rios, além de vegetação e folhagens que se alojam aos corpos hídricos. Detritos orgânicos, como algas e bactérias, e ações como desmatamento, despejo de esgoto, detritos industriais, agropecuários e mineração, também afetam no aumento da turbidez da água e causam alterações significativas no ecossistema aquático, devido à redução da fotossíntese de plantas aquáticas, que suspende a produtividade de peixes.

O nível de sólidos dissolvidos totais, de acordo com Resolução CONAMA N° 357/05 (2005), deve ser de no máximo 500 mg/L. Buzelli e Cunha-Santino (2013) esclarecem que, assim como a turbidez, os valores aumentam conforme a poluição dos ambientes é maior. Os aumentos de sólidos nos corpos hídricos aumentam os riscos de morte dos animais aquáticos, afetam na luminosidade da água e consequentemente no metabolismo dos organismos autotróficos, por dificultar na realização de fotossíntese, que também afetam animais heterotróficos que precisam de oxigênio para respiração.

Também é descrito na Resolução CONAMA N° 357/05 (2005) que a temperatura média da água para lançamento de efluentes deve ser inferior a 40ºC, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC na zona de mistura. De acordo com Buzelli e Cunha-Santino (2013), com a absorção da radiação solar na superfície da água e pela ação dos ventos que pode movimentar as massas de água dependendo da profundidade e do entorno formam camadas de diversas densidades nos rios, causando transferência de calor da superfície para as camadas mais profundas, o que afeta diretamente na redução da concentração de oxigênio dissolvido na água, podendo provocar contribuir para o aumento de matéria orgânica na água devido à morte de animais aquáticos.

Outro ponto levantado por Buzelli e Cunha-Santino (2013) é de que a elevação da temperatura também acontece devido à intensificação da decomposição de matéria orgânica, uma vez que a temperatura é inversamente proporcional a concentração de oxigênio dissolvido, dessa forma possibilitando a demanda bioquímica de oxigênio do ambiente aquático, além do aumento considerável de nitrogênio e fósforo por conta da lixiviação, no qual ocorre a dissolução de frações hidrossolúveis durante a decomposição de matéria.

Já o cálculo de oxigênio dissolvido se baseia em demanda biológica de oxigênio por 5 dias a 20°C até 3 mg/L O2, mas podendo ser 6 mg/L, 5 mg/L, 4 mg/L, e 2 mg/L, para corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4, de acordo com Resolução CONAMA 357/2005 (2005). O nível baixo de oxigênio dissolvido representa o quão poluído este rio se encontra, isto devido à altas temperaturas, diminuição de pressão atmosférica e oxidação de íons metálicos.

O Potencial Hidrogeniônico (PH) corresponde à potabilidade da água, por representar a acidez ou alcalinidade das águas. A Resolução CONAMA 357/2005 (2005) afirma que o valor do PH pode estar entre 6,0 a 9,0 para o consumo público. Este valor é reduzido quando há presente na água uma grande quantidade de matéria orgânica, devido ao processo de liberação de gás carbônico durante a decomposição.

Com relação aos coliformes fecais provenientes do despejo de esgotos sanitários, a Resolução CONAMA 274/2000 (2000) aponta que as águas consideradas próprias para balneabilidade humana são categorizadas como excelente (com no máximo 250 coliformes fecais ou 200 Escherichia coli por 100 ml), muito boa (máximo de 500 coliformes fecais ou 400 Escherichia coli) e satisfatória (máximo de 1.000 coliformes fecais ou 800 Escherichia coli). Caso o valor seja superior a 2.500 coliformes fecais ou 2.000 Escherichia coli, as águas são impróprias para o uso.

É estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 que o valor de fósforo total aceitável é no máximo 0,020 mg P/L para a Classe 1, 0,030 mg P/L para Classe 2, 0,050 mg P/L para a Classe 3 e valores superiores a esse último enquadram o corpo hídrico na Classe 4 em águas doces. Buzelli e Cunha-Santino (2013) afirmam que o nível de fósforo diminui a produtividade dos rios, no qual a produção de matéria orgânica ultrapassa o consumo e decomposição dos mesmos. Este é um elemento natural, presente em ambientes naturais (rios, rochas, água da chuva) e artificiais (como o esgoto). Com o aumento do fósforo o ambiente se torna propício para a geração de matéria orgânica, o que altera o ecossistema aquático.

Por fim, o nitrogênio total é composto pelo nitrogênio inorgânico proveniente de esgotos e despejos, que é apropriado por matéria orgânica, como as algas. Assim, como outros indicadores citados, quanto maior a quantidade de nitrogênio encontrada no corpo hídrico, menor a quantidade de oxigênio dissolvido, essencial para a sobrevivência de animais aquáticos. De acordo com o estabelecido pela legislação (Brasil, 2005) o valor máximo de nitrito para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, e 3 é de 1,0 mg N/L e para valores superiores a categoria é Classe 4.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para o cálculo do IQA, suas nomenclaturas e unidades de medida.

**Tabela 1 - Parâmetros utilizados para a determinação de qualidade.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetro** | **Nomenclatura** | **Unidade** | **Peso - wi** |
| Coli termotolerantes | Coli | NMP/100mL | 0,15 |
| pH | pH |  | 0,12 |
| DBO5 | DBO | mg/L | 0,10 |
| Nitrogênio total | NT | mgN/L | 0,10 |
| Fósforo total | PT | mgP/L | 0,10 |
| Temperatura | DifT | oC | 0,10 |
| Turbidez | Turb | NTU | 0,08 |
| Resíduos totais | ST | mg/L | 0,08 |
| Oxigênio Dissolvido | OD | % satur | 0,17 |

Fonte: autores do trabalho

* 1. **IoT e BIG Data**

Tan (2016) afirma que, dentro do contexto de Indústria 4.0, 55% da Internet das Coisas abrange a área de serviços públicos e o desenvolvimento de cidades inteligentes, enquanto 45% está relacionado a eletrodomésticos e veículos. Além disso, as aplicações de IoT nestas áreas facilitaram a economia de recursos, tornando-as mais sustentáveis.

Neves (2021) aponta a Internet das Coisas (IoT), como a definição da interação existente entre objetos do cotidiano que se conectam através da internet, considerando-os inteligentes, devido a troca, geração e processamento de dados através de uma comunicação sem fio, sem necessitar da interação humana.

É abordado por Zabadal e Castro (2017) que a internet foi a forma digital de comunicação digital inovadora entre os humanos, e que o IoT se trata da evolução da internet, no qual permite a conexão entre objetos do cotidiano de forma inteligente a ponto de, através da internet, controlá-los e realizar trocas de dados entre os mesmos para que possam ser aplicados em diversas áreas da sociedade, como a saúde, cidades inteligentes, entre outras.

Os objetos inteligentes são ativos no sistema durante a troca de informações e sua arquitetura é composta por quatro unidades que são: fonte de energia que alimenta os componentes (como baterias recarregáveis ou não); sensores para o monitoramento dos ambientes em que os objetos estão inseridos ou que estão atuando e exercem certas funções; processamento e memória que armazena os dados; e comunicação com ou sem fio (ZABADAL e CASTRO, 2017).

Com o grande crescimento exponencial do volume de dados gerados, principalmente no contexto de objetos inteligentes que fazem uma constante troca de dados através de sensores e conexão com a internet, surge a necessidade de se desenvolver tecnologias capazes de processá-los de forma proporcional e evolutiva, como é o caso de Big Data.

Caldas (2016) diz que Big Data é o termo que expressa o conjunto de dados produzidos atualmente pela sociedade, e que tem foco no processamento de grande quantidade de dados, como os provenientes de mídias sociais ou redes de sensores.

Além disso, Caldas (2016) complementa ao dizer que as plataformas Big Data são constituídas por um compilado de funções que atuam com um alto poder de processamento de dados, permitindo a interação com dados armazenados para organizá-los, aplicando técnicas computacionais e garantindo a maior qualidade possível.

De forma abrangente, o Big Data pode ser caracterizado como a junção dos cinco V’s, e são eles o Volume, que está relacionado à quantidade de dados disponíveis para o processamento, a Variedade de fontes e tipos, incluindo informações estruturadas e não estruturadas, a Velocidade com que as informações surgem e se acumulam, a Veracidade dos dados e das informações geradas e por fim o Valor que é agregado nos dados que após o processamento se tornam informações úteis e valiosas. (TAURION, 2013).

Fernández-Pacheco et al (2019) dizem que, na utilização do Big Data, o processamento em tempo real se aplica ao fluxo contínuo de coleta de informações, garantindo a coerência e a qualidade dos dados, enquanto o processamento offline utiliza-se de técnicas de inteligência artificial, redes neurais em que o sistema irá aprendendo gradativamente conforme for recebendo mais informações.

1. **METODOLOGIA**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, pois o “[...] tema escolhido é pouco explorado [...]” (Gil, 2008, p.43), uma vez que não existem referências da utilização de IoT e Big Data para auxiliar no cálculo de indicadores úteis para a gestão de recursos hídricos.

Segundo Silveira e Córdova (2009), esse tipo de pesquisa também proporciona mais familiaridade com o tema, assim, faz torná-lo mais conhecido. Ele também se encaixa com estudos com os quais se pretende “(...) examinar um tema ou problema de investigação pouco estudado ou que não tenha sido abordado antes” (SAMPIERI, COLLADO, LUCIO, 1991, p. 59).

Os dados do estudo, de caráter qualitativo, serão obtidos por meio de uma pesquisa bibliográfica sobre os temas gestão de recursos hídricos, indicadores para gestão de recursos hídricos, IoT e Big Data. Essa abordagem é prescritiva, uma vez que busca observar maneiras diferentes de avaliar como os conceitos envolvidos se integram e se complementam.

No desenvolvimento do método, foram definidos e caracterizados gestão dos recursos hídricos, citados indicadores importantes para a gestão dos recursos hídricos, descritas as informações necessárias para o cálculo dos indicadores, definidos IoT e Big Data e descritos como essas tecnologias podem auxiliar na coleta das informações e no cálculo de indicadores demonstrando como exemplo o Índice de Qualidade de Água (IQA).

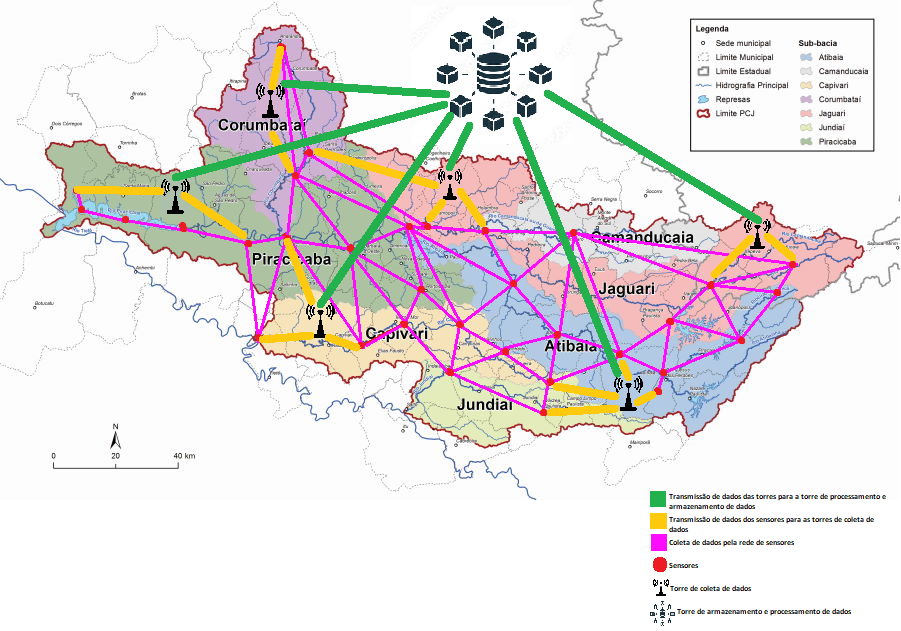
1. **UTILIZAÇÃO DE IoT E BIG DATA PARA CÁLCULO DE INDICADORES**

Tendo como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e apresentar como eles podem ser calculados com a utilização de TIC como IoT e Big Data, a seguir será exemplificado como pode ser feito o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) no contexto de uma bacia hidrográfica.

Utilizando-se de IoT, é possível criar um sistema de coleta de informações sobre os parâmetros de qualidade da água a partir de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), espalhados no espaço de uma bacia hidrográfica, conforme exemplificado pela Figura 1, que representa o espaço das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí que tem uma área aproximada de 15.377 km², sendo 92,45% no Estado de São Paulo e 7,55% no Estado de Minas Gerais.

Neste exemplo, uma grande quantidade de sensores, cada um com sua finalidade, seria distribuída em locais estratégicos dentro da área das bacias hidrográficas para coletar as informações necessárias em tempo real e transmiti-las por meio de torres de transmissão para uma central de armazenamento e processamento de informação.

Figura 1 – Rede de Sensores Sem Fio para coleta de parâmetros de qualidade da água



Fonte: autores, adaptado de Agência das Bacias PCJ (AB-PCJ).

Diante da coleta de informações de cada um dos sensores e do volume de informações coletadas, seria necessária uma base de dados para armazenar os parâmetros recebidos, e então enviá-los até a aplicação Big Data que realizaria a análise e o cálculo do IQA com base na fórmula de cálculo deste indicador.

Procurando exemplificar como IoT e Big Data podem contribuir com a determinação do indicador de qualidade da água, serão utilizados os parâmetros descritos na Tabela 1.

Com base no indicador de PH, útil para o cálculo da qualidade da água, é possível identificar o valor através da utilização de um transmissor de PH que mede a acidez ou alcalinidade de um líquido. O PH é calculado através de uma escala logarítmica com intervalo de 0 à 14, na qual o valor 7 corresponde à água pura, e que os valores abaixo de 7 demonstram a acidez da água, enquanto valores acima correspondem a uma água básica (alcalina).

Daigavane e Gaikwad (2017) descrevem uma opção de baixo custo de sensor IoT para a obtenção dos valores de PH da água, utilizando um sensor que funciona com fonte de alimentação de 5V e interface com arduino.

Jiang et al (2009) exemplificam uma estrutura sistemática dos nós de monitoramento, que podem ser divididos em cinco módulos, sendo eles módulos de processamento, transmissor, módulo de detecção, módulo de potência e rádio ZigBee e módulo de frequência. Os módulos mencionados deveriam ser impermeabilizados e colocados em uma estrutura à prova d’água para ficar na superfície da água.

Jiang et al (2009) explicam que o módulo de energia forneceria eletricidade necessária para o transmissor de pH, módulo de processamento e o módulo de radiofrequência ZigBee. O transmissor de pH coletaria os valores enquanto o módulo de processamento processa e armazena, então os transfere através do módulo ZigBee para a estação de base de dados. Cada sensor é conectado e controlado pela estação base por meio do protocolo de comunicação ZigBee.

Outro parâmetro necessário para a determinação do IQA é a temperatura, que é possível ser obtida por meio de um sensor IoT, para posterior identificação se o valor está de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/05 (2005) que afirma que a temperatura média da água para lançamento de efluentes deve ser inferior a 40ºC, enquanto a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC.

Lima (2018) exemplifica que a coleta de temperatura pode ser realizada através de um sensor composto por resistência que utiliza metais com alto grau de linearidade de resistência na faixa de temperatura para a qual foi feito, termistor que são semicondutores e que a resistência elétrica varia de acordo com a temperatura ou termopar que são mais robustos e suportam até altas temperaturas.

Outra informação importante para o cálculo da qualidade da água é a quantidade de Coliformes Termotolerantes presente que, de acordo com a Resolução CONAMA (2005), é caracterizado pelo conjunto de bactérias pertencentes ao grupo E. coli e algumas estirpes de Klebsiella e Enterobacter apresentam esta característica de termotolerância, porém, somente E. coli tem como habitat primário o intestino humano e de animais, que tem a capacidade de fermentar a lactose a 44,5 ± 0,2 °C, em 24 h.

Medeiros (2016) aponta que Coliformes Termotolerantes é considerado o parâmetro específico de qualidade de água destinada a potabilidade e balneabilidade, no qual o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano deve ser caracterizado pela ausência de E. coli, em 100 ml de amostra da água tratada (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

Medeiros (2016) cita que a informação sobre Coliformes Termotolerantes, assim como Resíduos Totais, pode ser obtida através de sensores colorimétricos à base de Polidiacetilenos (PDAs) por possuírem sensibilidade alta à estímulos externos, demonstrando mudanças significativas nas propriedades estruturais, químicas e físicas com suas flutuações nas condições ambientais, podendo inclusive detectar agentes patogênicos.

Já para a obtenção da quantidade de oxigênio dissolvido na água, pode ser utilizado um sensor wireless medidor de oxigênio dissolvido que determina se está dentro do estabelecido como normal pela Resolução CONAMA (2005).

Lima (2018) demonstra que uma alternativa é a utilização de sensores em conjunto com placas arduino, como exemplo dado de sensores adquiridos da empresa AtlasScientific, que possui disponível um Kit com os seguintes sensores: pH, temperatura, condutividade, redox e oxigênio dissolvido. Esses kits acompanham transmissores e cabos para conexão com o Arduino para coleta de dados e calibração.

IoT também pode ser aplicado para identificar a turbidez na água através de sensor wireless, como um sensor caracterizado por um emissor e um receptor de luz infravermelha, no qual ao se emitir luz infravermelha, é medido o nível de recepção da mesma no receptor, e então, quanto maior a quantidade de partículas em suspensão na água, maior é a absorção e reflexão da luz infravermelha por parte do líquido, o que consequentemente demonstra a água mais escura, elevando-se assim a turbidez da água.

Cardoso (2011) diz que o sensor de turbidez, denominado turbidímetro, é o equipamento utilizado para medir a turbidez de um líquido. A avaliação realiza a comparação do espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão.

Quanto ao DBO5 também é possível obter por meio de sensores específicos. Alguns sensores DBO são colocados diretamente em contato com a amostra, e através do transdutor de pressão a variação de pressão dentro do frasco é medida, em conjunto a um microprocessador que converte o valor de pressão em mg/l O2 ( DBO) mostrando o valor de DBO diretamente no display.

Da mesma forma, as informações sobre fósforo e nitrogênio totais podem ser coletadas através de sensores wireless, que por meio da conexão com a rede consegue capturar em tempo real os valores.

O processamento e a análise de dados seria baseado em aplicações Big Data, uma vez que oferece uma solução flexível para permitir o processamento de dados provenientes da rede de sensores, mas também de bancos de dados externos e informações armazenadas em históricos. Com o Big Data é possível realizar o cálculo do IQA com a utilização das variáveis recebidas, em tempo real ou offline

Com estas funcionalidades, é possível criar um sistema de análise dos dados recebidos de cada ponto onde estarão alocados os sensores, diferenciar as áreas, realizar o cálculo de qualidade da água e então oferecer recomendações aos gestores, como subsídio de apoio à decisão no campo de gestão dos recursos hídricos. Também é possível, com o uso do Big Data, gerar tabelas e gráficos que demonstrem projeções futuras de cada região, a partir de dados históricos, confrontados com outros indicadores calculados ao longo dos anos, como por exemplo, a vazão dos cursos de água, que variam dependendo do índice pluviométrico das águas das chuvas que caem ao longo da bacia hidrográfica.

Também é possível a partir da aplicação de Big Data criar um *Dashboard* para fornecer os gestores indicadores detalhados e consolidados, como por exemplo o IQA em um local específico de coleta, em uma região da bacia hidrográfica, ao longo de um curso de água e em toda a sua extensão, ao longo de uma cidade ou de forma mais consolidada o IQA da bacia hidrográfica como um todo.

Desta forma, com o apoio dos dados coletados em tempo real, e a análise feita pela plataforma do Big Data, é possível subsidiar e facilitar o processo de tomada de decisão de forma mais assertiva, e garantir o cuidado mais efetivo com o meio ambiente.

1. **CONCLUSÕES**

O trabalho detalhou a utilização de IoT e BIG Data para a criação do indicador de qualidade da água, fato que pode ser utilizado para outros indicadores que possam ter seus parâmetros coletados por meio de sensores e consolidados por meio de aplicações Big Data, como indicadores quantitativos e fornecer em tempo real informações e subsídios para auxiliar o processo decisório.

Com a utilização da rede de sensores IoT e Big Data, torna-se possível um controle mais minucioso e efetivo de áreas possivelmente afetadas por detritos descartados nos corpos hídricos pelas indústrias e poluições provenientes do descarte incorreto de materiais nas cidades, uma vez que será possível obter o IQA em cada região demarcada, e desta forma analisar causas para os diferentes valores, e aplicar tratamentos específicos e políticas mais severas para cada situação, em prol da saúde da população contribuindo para a preservação hídrica no espaço de uma bacia hidrográfica.

Nem todos os indicadores são possíveis de ter seus dados obtidos por meio de sensores IoT. Em muitos casos há necessidade de intervenção humana para coleta, cálculo do indicador e análise.

Uma rede de sensores espalhadas em bacia hidrográfica pode ter dificuldades de transmissão de informação em função da tecnologia existente. No Brasil e em muitos países fala-se que esses problemas serão minimizados com a implantação da tecnologia 5G.

Outro problema é a segurança, pois poderá haver roubo de sensores e equipamentos de transmissão de dados, o que inviabilizaria a coleta das informações.

Quanto a tecnologia existente atualmente pequenas aplicações poderiam ser iniciadas para o que está se propondo, no entanto deve ser um processo de implantação lento, como ocorreu com a telefonia móvel, que até hoje tem dificuldade de ser utilizada em várias partes do Brasil e também em outros países.

Finalmente, este trabalho não teve como objetivo esgotar o assunto, apenas demonstrar que Tecnologias de Informação e Comunicação como IoT e Big Data podem ser úteis ao fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos.

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AB-PCJ, Agência das Bacias PCJ, localização, disponível em: https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/ .

ALMEIDA, J.; BRITO, A. G. **A utilização de indicadores ambientais como suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos: o caso da região autônoma dos açores**. In: III Congreso Ibérico Sobre Gestión Y Planificación Del Água, Anais…, Sevilla, Portugal. 2002.

ALMEIDA, M.B. & SCHWARZBOLD, A. **Avaliação sazonal da qualidade das águas do**

**Arroi da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8: 81-97, 2003.

BRAGA, Benedito; BARBOSA, Paulo Sérgio Franco; NAKAYAMA, Paulo Takashi. **Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357**, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BUZELLI, Giovanna Moreti; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da. **Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP**. Revista Ambiente & Água, v. 8, p. 186-205, 2013.

CHAFFIN, B. C. et al. **Transformative environmental governance**. Annual Review of Environment and Resources, v. 41, p. 399–423, 2016

CHAVES, Heloisa Pimpão, FERREIRA, Denise Helena Lombardo,SILVA, Gabriel Marinho e, GIMENES, Maíra, CARVALHO, Rafael Santos, MARIOSA, Duarcides Ferreira. **Avaliação De Sustentabilidade Dos Indicadores Do Plano Das Bacias Hidrográficas Dos Rios Piracicaba, Capivari E Jundiaí.** II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas. 2020.

CALDAS, Max Silva; SILVA, Emanoel Costa Claudino. **Fundamentos e aplicação do Big Data: como tratar informações em uma sociedade de yottabytes**. 2016.

CARDOSO, Thaiany Guilherme. **Sensor de turbidez para análise de amostras de água**. 2011.

CONSÓRCIO PROFILL-RHAMA COMITÊ DAS BACIAS PCJ. **Relatório Final - Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**, 2020 a 2035. Porto Alegre, 2020a. 758p.

DAIGAVANE, Vaishnavi V.; GAIKWAD, M. A. **Water quality monitoring system based on IoT. Advances in wireless and mobile communications**, v. 10, n. 5, p. 1107-1116, 2017.

DIAS, Isabel Cristina Lopes. **Indicadores de sustentabilidade de bacia hidrográfica e hidroquímica de poços no estado do Maranhão: Subsídios ao gerenciamento e conservação dos recursos hídricos**. 2018. 151 f. Tese( Programa de Pós-Graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

FERNANDES, Vera Maria Cartana. **Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos**. II simpósio nacional sobre o uso da água na agricultura, Passo Fundo, 2006.

FERRAZ, Angela R. G.; BRAGA JR, BENEDITO P. F. **Modelo decisório para a outorga de direito ao uso da água no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 1, p. 5-19, 1998.

GALDINO, Natanael. **Big Data: ferramentas e aplicabilidade**. In: Congresso De Engenharia.Vol. 12. 2016.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

GLEICK, P.; ICELAND, C. **Water, Security, and Conflict. Issue Brief.** World Resource Institute and Pacific Institute., p. 1–16, ago. 2018.

GLORIA, Lucivania Pereira; HORN, Bruna Carolina; HILGEMANN, Maurício. **Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água-IQA**. Revista Caderno Pedagógico, v. 14, n. 1, 2017.

IORIS, Antônio. **Desenvolvimento nacional e gestão de recursos hídricos no Brasil**. Revista Crítica de Ciências Sociais [Online], 85. 2009, publicado a 01.dezembro 2012. URL: http://journals.openedition.org/rccs/329; DOI: https://doi.org/10.4000/rccs.329

JIANG, Peng et al. **Design of a water environment monitoring system based on wireless sensor networks. Sensors**, v. 9, n. 8, p. 6411-6434, 2009.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha, CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos e NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2005, v. 10, n. 3 [Acessado 17 Novembro 2021] , pp. 219-228. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000300006>. Epub 14 Out 2005. ISSN 1809-4457. https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000300006.

LIMA, Ellen Lima et al. **Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem**. 2018.

LOPES, Mayara Sakamoto et al. **Sistema De Suporte A Decisões Aplicado Ao Monitoramento De Recursos Hídricos: Estudo De Caso SSD PCJ**. In: Anais do II SUSTENTARE e V WIPIS - Workshop Internacional sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos. Anais...Campinas(SP) PUC-CAMPINAS, 2020. Disponível em: <https//www.even3.com.br/anais/2\_SUSTENTARE\_5\_WIPIS/305512-SISTEMA-DE-SUPORTE-A-DECISOES-APLICADO-AO-MONITORAMENTO-DE-RECURSOS-HIDRICOS--ESTUDO-DE-CASO-SSD-PCJ>. Acesso em: 20.abr.2021.

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães. **Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas**. Revista Geografias, p. 134-147, 2010.

MAGALHÃES, Rafael Caldeira; BARP, Ana Rosa Baganha, **Inovações metodológicas para construção de cenários estratégicos em bacias hidrográficas**, Revista de Administração e Inovação, São Paulo, v. 11, n.3, p. 200-226, jul./set . 2014.

MALHEIROS, T.F.; COUTINHO, S.M.V.; PHILIPPI Jr, A. **Indicadores de sustentabilidade: uma abordagem conceitual.** Em Livro PHILIPPI Jr., A.; MALHEIROS, T.F. (ed.) Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental. Cap. 3, pp. 31-76. Barueri, SP: Manole, 2012.

MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik, **Big data: the management revolution,** Harvard Business Review, October, 2012

MEDEIROS, Hiasmyne Silva de. **Uso de sensor de polidiacetileno para detecção de contaminantes químicos e microbiológicos em água potabilizada para consumo humano**. 2016.

MIRANDA, Graziele Muniz. **Indicadores do potencial de gestão municipal de recursos hídricos**. 2012.

MIZUTANI, Meriellen Nuvolari Pereira; CONTI, Diego de Mello. **Indicadores De Sustentabilidade Como Ferramenta De Gestão No Planejamento Urbano: Um Estudo Sobre A Cidade De Barueri**. Humanidades & Inovação, v. 8, n. 46, p. 300-317, 2021.

DE MORAES, Luiza Alice Ferreira; DE SOUZA FILHO, Edvard Elias. **Indicadores ambientais e desenvolvimento sustentado**. Acta Scientiarum. Technology, v. 22, p. 1405-1412, 2000.

NETO, Jorge Mattar, KRÜGER, Cláudio Marchand e DZIEDZIC, Maurício. **Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna**. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2009, v. 14, n. 2 [Acessado 17 Novembro 2021] , pp. 205-213. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200008>. Epub 17 Jul 2009. ISSN 1809-4457. https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200008.

NEVES, Mateus Aparecido Tonin. **Internet das coisas (IOT): introdução e visão geral de aplicações**. 2021

PORTO, Monica, F. A.; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008 pp. 43-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Epub 12 Maio 2009. ISSN 1806-9592. https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004.

SAMPIERI, Roberto Hernandez; COLLADO, Carlos Fernadez; LUCIO, Pilar Batista Otros (2006). **Metodología de la Investigación**, v. 3, 1991.

SANTIN, Janaína Rigo e GOELLNER, Emanuelle. **A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso**. Sequência (Florianópolis) [online]. 2013, n. 67 [Acessado 17 Novembro 2021] , pp. 199-221. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p199>. Epub 13 Jan 2014. ISSN 2177-7055. https://doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p199.

SILVA, Sandra Sereide Ferreira da, SANTOS, Jaqueline Guimarães, CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde, & RAMALHO, Ângela Maria Cavalcanti. (2012). **Indicador De Sustentabilidade Pressão –Estado – Impacto - Resposta No Diagnóstico Do Cenário Sócio Ambiental Resultante Dos Resíduos Sólidos Urbanos Em Cuité/Pb.** Reunir Revista De Administração Contabilidade E Sustentabilidade, 2(2), 76-93. https://doi.org/10.18696/reunir.v2i2.68

SILVA, Neusa Aparecida Sales; LUVIZOTTO, Edevar. **Indicadores de gestão para sistemas de abastecimento de água**. São Paulo, 1999.

SILVEIRA, D. T.; CÓDOVA, F. P. **A pesquisa científica.** In: GERHARDDT, T. E. e SILVEIRA, D. T. (org.). Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora de UFRGS, P. 31-42, 2009.

SCHMITZ, Arno P. e BITTENCOURT, Maurício Vaz Lobo. **Crescimento Econômico E Pressão Sobre Recursos Hídricos**. Estudos Econômicos (São Paulo). 2017, v. 47, n. 2 pp. 329-363. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-416147243asm>. ISSN 1980-5357. https://doi.org/10.1590/0101-416147243asm.

SOARES, Andressa Bezerra; SILVA FILHO, José Carlos Lázaro da; ABREU, Monica Cavalcanti Sá de; SOARES, Francisco de Assis. **Revisando a estruturação do modelo dpsir como base para um sistema de apoio à decisão para a sustentabilidade de bacias hidrográficas**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.4, n.3, p. 521-545, set/dez. 2011 - ISSN 1981-9951

SUGAHARA, Cibele Roberta, MARTINS, Audrey Moretti, BUENO, José Otávio de Almeida, WATANABE, Alex Marcel, GONÇALVES, Dimas Alcides Gonçalves, JUCÁ, Lorena Braga Quintella & MARIOSA, Duarcides Ferreira. **Avaliação Da Sustentabilidade Das Bacias Pcj A Partir De Indicadores De Disponibilidade E Demandas Hídricas**. II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas. 2020

TAN, Joy. **A Internet das Coisas e a sustentabilidade do negócio**. CIO. 2016. Disponível em: <http://cio.com.br/opinião/2016/11/11/a-internet-das-coisas-e-a-sustentabilidade-do negocio>.

TAURION, Cezar. **Big data**. Brasport, 2013.

TOMAZ, A. **A política nacional de recursos hídricos (PNRH) e o federalismo no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Geografia Humana—São Paulo, SP, Brasil: Universidade de São Paulo, maio 2006.

TROJAN, Flavio. **Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas**. 2012.

WHITMORE, Andrew; AGARWAL, Anurag; XU, Li Da, **The Internet of Things – A survey of topics and trends**. Inf Syst Front, 17:261-274, 2014.

ZABADAL, Bernardo Moreira; DE CASTRO, Bianca Francinny Lisboa Murta. **IoT e seus principais desafios**. Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação, v. 3, n. 1, 2017.