



## O PROCESSO DE DECISÃO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: A CONTRIBUIÇÃO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) E BIG DATA

*The decision process in water resources management: the contribution of the Internet of Things (IOT) and Big Data*

Maria Luiza Ramos da Silva<sup>1</sup>, Orandi Mina Falsarella<sup>2</sup>, Duarcides Ferreira Mariosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Curso de Engenharia de Software, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), <sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas)

Email: [marialuizars.ml@gmail.com](mailto:marialuizars.ml@gmail.com), [orandi@puc-campinas.edu.br](mailto:orandi@puc-campinas.edu.br), [duarcidesmariosa@puc-campinas.edu.br](mailto:duarcidesmariosa@puc-campinas.edu.br)

### RESUMO

Devido à escassez de água e da preocupação com a sua existência no futuro, há necessidade de aprimorar os sistemas de gestão e de apoio à decisão para que a água não venha faltar. Quando se fala em processo decisório, não há como concebê-lo sem o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Além das existentes, duas TIC emergentes parecem ser úteis nesse processo, a Internet das Coisas (IoT) e o Big Data. Assim, esse trabalho tem como objetivo verificar como o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação, principalmente IoT e Big Data, podem auxiliar o processo decisório na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, de caráter qualitativa e prescritiva. Como resultado, pretende-se relacionar esses conceitos e apresentar como as TIC podem auxiliar na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** Gestão de Recursos Hídricos, Bacias Hidrográficas, IoT, Big Data, Processo de Tomada de Decisão.

**ACEITO EM:** 04/05/2022

**PUBLICADO:** 15/06/2022



## THE DECISION PROCESS IN WATER RESOURCES MANAGEMENT: THE CONTRIBUTION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) AND BIG DATA

*O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: a contribuição da Internet das Coisas (IOT) e Big Data*

Maria Luiza Ramos da Silva<sup>1</sup>, Orandi Mina Falsarella<sup>2</sup>, Duarcides Ferreira Mariosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Software Engineering Course, Pontifical Catholic University of Campinas (PUC-Campinas), <sup>2</sup>Postgraduate Program in Sustainability, Center for Economy and Administration, Pontifical Catholic University of Campinas (PUC-Campinas),

Email: marialuizars.ml@gmail.com, orandi@puc-campinas.edu.br, duarcidesmariosa@puc-campinas.edu.br

### ABSTRACT

Due to the scarcity of water and the concern about its existence in the future, there is a need to improve the management and decision support systems so that water will not run out. When it comes to decision-making, there is no way to conceive of it without the use of Information and Communication Technologies (ICT). In addition to the existing ones, two emerging ICT seem to be useful in this process, the Internet of Things (IoT) and Big Data. Thus, this work aims to verify how the use of Information and Communication Technologies, especially IoT and Big Data, can help the decision-making process in the management of water resources in river basins. The present study is characterized as an exploratory, qualitative, and prescriptive research. As a result, it is intended to relate these concepts and present how ICT can help in the management of water resources in river basins.

**Keywords:** Water Resources Management, River Basins, IoT, Big Data, Decision-making Process.

## INTRODUÇÃO

Um dos fatores mais importantes para a sobrevivência da humanidade, sem dúvida, é a existência de água, o que traz para a discussão a temática da gestão sustentável dos recursos hídricos e das bacias hidrográficas, uma vez que este bem é escasso, finito e de distribuição heterogênea nas diversas regiões do planeta, inclusive no Brasil.

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.

Segundo Schmitz e Bittencourt (2017), alguns comitês gestores de bacias hidrográficas têm avançado na cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Devido à escassez desse recurso e da preocupação com a sua existência no futuro, é necessário aprimorar os sistemas de gestão e de apoio à decisão.

Magalhães e Barp (2014) afirmam que a gestão integrada de bacias hidrográficas e da água ocorre quando as organizações públicas e privadas, de posse das informações adequadas, podem tomar decisões e traçar estratégias para alcançar objetivos pré-determinados por todos atores e agentes envolvidos. No entanto, coletar e processar um número significativo de informações só tem sentido se for possível gerar valor, ou seja, conhecimento e ferramentas de gestão para auxiliar o processo decisório.

Quando se fala em processo decisório é fundamental que a decisão esteja baseada em informação e não somente na intuição ou experiências individuais. Nesse caso, o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) pode contribuir consideravelmente. Além das TIC existentes atualmente, duas das emergentes parecem ser muito úteis nesse processo, a Internet das Coisas (IoT) e o Big Data.

O principal conceito utilizado por IoT é permitir que objetos de qualquer natureza tenham recursos de identificação, detecção, rede e processamento que lhes permitam se comunicar uns com os outros, além de outros dispositivos e serviços da internet para processar e compartilhar dados sem a necessidade da mediação humana (Whitmore, 2014). Para Whitmore (2014), a 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.

No processo de tomada de decisão, IoT pode ser útil ao permitir coletar rapidamente informações que antes eram impossíveis de serem coletadas, processá-las e disponibilizar o resultado para subsidiar os gestores no processo decisório. Capturar por meio de IoT o índice pluviométrico e de umidade ao longo dos vários cursos de água existentes em uma bacia hidrográfica pode ser um bom exemplo da captura de informação relevante para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos.

Já Big Data é um conceito que permite processar um conjunto muito grande de informações e dele extrair valor, reduzindo a subjetividade ou o uso da intuição no processo de tomada de decisão. Para Davenport et al (2014), Big Data consegue trazer informações que são exógenas às empresas, captadas por redes sociais, meios informatizados de colaboração em massa, além de sensores em diversos produtos ou registros de tráfego de internet, entre outros.

Macafee e Brynjolfsson (2012), afirmam que Big Data tem potencial para transformar empresas, trazendo-lhes oportunidades e vantagens competitivas, ao permitir medir e gerenciar de modo mais preciso, fazer previsões melhores e tomar decisões mais inteligentes, uma vez que decisões apoiadas em evidências são mais assertivas.

Em razão da quantidade de atores, agentes e situações envolvidos, sejam eles humanos ou não, pessoas físicas ou jurídicas, empresas públicas ou privadas e do grande volume de informações existentes e produzidas no contexto das bacias hidrográficas importantes para a gestão dos recursos hídricos e para subsidiar o processo de tomada de decisão, dois questionamentos podem ser feitos. São eles:

Como as Tecnologias da Informação e Comunicação podem auxiliar na coleta e tratamento de dados, gerando informações e subsídios para auxiliar no processo decisório?

Como aplicações de Big Data e IoT podem auxiliar na coleta, tratamento, geração de conhecimento e desenvolvimento de ações para melhorar a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, principalmente para avaliar se o recurso água vai ser suficiente para atender a demanda?

Mediante estes questionamentos, o presente trabalho tem como objetivo verificar como o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação como IoT e BigData podem auxiliar o processo decisório na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

## 1. REVISÃO DA LITERATURA

### 1.1 Gestão de recursos hídricos e processo decisório

Dentre os bens comuns e de uso universal, a água tem se mostrado como um dos principais recursos dotado de insegurança e incertezas quanto à sua sustentabilidade. Em algumas situações é a disponibilidade insuficiente; em outras, é o custo e a capacidade tecnológica de tratamento. Em ambas, estão presentes a complexidade, efetividade e aplicabilidade dos instrumentos de gestão e governança dos recursos hídricos (Chaffin et al., 2016). Estes instrumentos devem abranger, além dos fatores climáticos e ambientais, o que pode ser chamado de ciclo de vida da água, ou seja, a geração por meio de ciclos hidrológicos naturais, a retenção e armazenamento para consumo em momentos de restrições, a captação e tratamento, a distribuição e consumo pelos diversos atores, sejam os consumidores pessoas físicas ou jurídicas, ou seres vivos de modo em geral e o tratamento para devolução para os cursos de água para posterior reuso.

Schnoor (2009) descreve a avaliação do ciclo de vida (LCA- Life Cycle Assessment) como sendo uma ferramenta de gestão ambiental amplamente aceita e que pode ser aplicada para medir as várias intervenções ambientais causadas durante o ciclo de vida de produtos, desde o berço até o túmulo. Todavia, ao se avaliar o desempenho ambiental de um produto utilizando a LCA, em geral, se considera tão somente a energia consumida ao longo da vida ou a emissão de gases de efeito estufa, substâncias tóxicas e contaminantes. De forma que o consumo da água utilizada ao longo do ciclo de vida do produto, costuma ser frequentemente negligenciado (Berger e Finkbeiner, 2010).

Para Berger e Finkbeiner (2010, p. 921), os desafios metodológicos para construir um inventário e avaliação de impacto dos usos da água decorrem, particularmente, do fato “de que a água doce não é consumida, mas sim circula em ciclos globais. Além disso, a disponibilidade de água doce varia ao redor do mundo, diferentes cursos de água cumprem diferentes funções ecológicas e diferentes qualidades de água permitem diferentes usos”. Lembram, ainda, os autores que o uso de água doce pode ser dividido entre o uso degradativo e o uso consuntivo. O uso degradativo caracteriza-se pela “retirada e descarga de água na mesma bacia hidrográfica após alteração de qualidade”. O uso consuntivo de água doce, por sua vez, ocorre quando a água usada não é lançada na mesma bacia hidrográfica da qual foi retirada, mas integrada ao produto, evaporada ou descarregada em diferentes bacias hidrográficas (Berger e Finkbeiner, 2010, p. 921). Com base nessas duas subdivisões, teríamos quatro tipos de uso de água doce assim divididos:

- ✓ Uso degradativo de água doce no riacho, por exemplo, aumento da temperatura da água retida em barragens ou reservatórios
- ✓ Uso consuntivo de água doce no fluxo, por exemplo, evaporação adicional de água retida em barragens ou reservatórios
- ✓ Uso degradativo de água doce fora do fluxo, por exemplo, aumento da demanda bioquímica de oxigênio entre a captação de água e o efluente da estação de tratamento de águas residuais
- ✓ Uso consuntivo de água doce fora do rio, por exemplo, a fração da água de irrigação que é evaporada

A gestão de recursos hídricos se dá, assim, no contexto de uma bacia hidrográfica onde, a princípio, deve haver água suficiente para prover as necessidades não só dos habitantes que nela residem, como também para outros usos em atividades de qualquer natureza em que a água é utilizada ou incorporada.

Uma bacia hidrográfica é delimitada por elementos geográficos e geológicos, de modo que em seus limites naturais o escoamento das águas superficiais converge para um mesmo leito de rio. Características específicas de cada bacia são determinadas tanto pelo ambiente natural quanto por seus habitantes, que impõem condições físicas, biológicas, econômicas, sociais e culturais (Souza Filho, 2015).

Porto e Porto (2008) complementam quando afirmam que

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 e Porto 2008, p. 45).

Segundo Schmitz e Bittencourt (2017), os estudos sobre análise de demanda dos recursos hídricos estão relacionados à escassez de água, especialmente superficiais, com vistas a proposição de estratégias poupadoras. Diante deste fato, os autores complementam que há necessidade de implementar mecanismos de gestão da água, como por exemplo a cobrança pelo uso do recurso, como tem sido feito por alguns comitês de bacias hidrográficas.

Para Magalhães e Barp (2014)

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 e Barp, 2014, p. 201).

Magalhães e Barp (2014) também afirmam que é importante destacar que

[...] 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 equitativa 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. 201).

Porto e Porto (2008) descrevem que a integração dos vários aspectos afetos ao uso da água e preservação do meio ambiente é o principal ponto que deve sustentar ações relacionadas à gestão dos recursos hídricos. Os autores destacam também que existem vários instrumentos de gestão como os de disciplinamento (outorga), os de incentivo (cobrança) e de apoio, como é o caso dos Sistemas de Informação (SI).

Os SI permitem coletar, armazenar, recuperar e disseminar informações e são hoje, quase sem exceção, baseados em computador apoiando as funções nos operacionais, gerenciais e de tomada de decisão existentes na organização (Rainer Jr. e Cegielski, 2011).

Porto e Porto (2008) complementam ao dizer que uma gestão dos recursos hídricos que seja sustentável deve ter mais alguns instrumentos como: informações disponíveis em uma base de dados e socialmente acessíveis; a definição clara dos direitos de uso; o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão, de modo que a decisão qualificada dependa de informações e subsídios provenientes de sistemas de informações.

Para O'Brien e Marakas (2013) e Laudon e Laudon (2010), os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) dão suporte ad hoc e interativo aos processos de tomada de decisão de gestores e outros profissionais de negócios; ajudam a gerência sênior a tomar decisões; são projetados para incorporar dados sobre acontecimentos externos e

internos e filtram, condensam e rastreiam informações críticas, mostrando apenas as mais importantes e de forma consolidada para a gerência sênior.

Porto e Porto (2008) descrevem que no processo de gestão dos recursos hídricos, apesar das campanhas de orientação da sociedade, a promoção de programas de educação ambiental e outras com o propósito de diminuir os problemas afetos à falta de água, as melhores decisões dependem de informações e de capacidade analítica, enfatizando os SI como importantes instrumentos de gestão.

A seguir serão descritos exemplos de informações associadas ao ciclo de vida da água que podem ser úteis para auxiliar o processo decisório na gestão dos recursos hídricos. Essas informações são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Exemplos de informações para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos**

Ciclo de vida da água	Informações	Fonte bibliográfica
Geração por meio de ciclos hidrológicos naturais	Vazão dos cursos de água	Trojan, 2012
	Índice pluviométrico diário	Lopes et al, 2020
	Controle de cheias	Braga et al, 1998
Retenção e armazenamento	Nível de água existente nos reservatórios	Braga et al, 1998
	Temperatura da água	Fernandes, 2006
	Pressão da água	Trojan, 2012
	Sólidos dissolvidos e sedimentares	Fernandes, 2006
Captação e tratamento	Controle da qualidade da água	Fernandes, 2006
	Medição do PH da água	Fernandes, 2006
	Medição da turbidez da água	Fernandes, 2006
	Medição de gases e substâncias	Fernandes, 2006
Distribuição e consumo	Consumo de água em uma cidade	Fernandes, 2006
	Medição de vazão para auxiliar no controle de perda de água	Trojan, 2012
	Consumo de água industrial	Braga et al, 1998
Tratamento e devolução para reuso	Medir quantidade de oxigênio dissolvido na água	Fernandes, 2006
	Medição de padrões microbiológicos	Fernandes, 2006
	Medição de óleos e graxas	Fernandes, 2006
	Cor da água	Fernandes, 2006

Fonte: autores do trabalho

Diante das informações apresentadas, e de tantas outras necessárias para auxiliar no processo decisório para realizar a gestão, é preciso saber se no contexto de uma bacia hidrográfica haverá água suficiente para atender a demanda de todos os usuários e consumidores envolvidos.

Neste caso, Porto e Porto (2008) asseveram que no processo de gestão e de tomada de decisão há necessidade de “ferramentas computacionais que permitam o acesso rápido aos dados da bacia hidrográfica, possibilitem a avaliação de cenários atuais e futuros e possam analisar alternativas de implantação de obras e/ou de operação de sistemas”. Complementam o raciocínio ao afirmar que “tomadas de decisão sobre outorga, eventuais racionamentos, enquadramento de cursos de água por classes de uso, controle de cheias, tratamento e diluição de efluentes, adoção de medidas de contingência e outras não podem prescindir de bases de informações sistematicamente organizadas e atualizadas” (Porto e Porto, 2008, p. 54).

A seguir, serão descritas duas TIC que podem ser úteis para coletar informações internas e externas no espaço da bacia hidrográfica e, diante do volume e velocidade com as quais elas surgem e se modificam, auxiliar na análise e subsidiar, portanto, o processo decisório dos gerentes responsáveis pela gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

## 1.2 IoT e Big Data Conceitos e aplicações

O termo Internet das Coisas (IoT) só alcançou repercussão nas mídias em 2001, mas o conceito já era abordado em 1991, no artigo “The Computer of 21st Century” de Mark Weiser, que diz respeito a dispositivos do cotidiano existentes em todos os lugares conectados, coletando e enviando informações entre si com o objetivo de tornar mais prática e produtiva a vida (Santarella et al, 2013).

Santarella et al (2013) afirmam, também, que a evolução das técnicas de programação em conjunto com as tecnologias de redes, que realizam a integração entre as máquinas com a Internet, além de hardwares programáveis, é vista como um marco para o início das discussões entre pesquisadores a respeito da IoT.

Com o surgimento de pesquisas relacionadas à IoT e de produtos inteligentes que se conectam com outros dispositivos através da rede (internet ou redes móveis) este termo passou a ser amplamente estudado. Trouxe, com isso, grande visibilidade para governos e empresas, que notaram a possibilidade de aplicar tal conceito para solucionar problemas mais complexos da sociedade, uma vez que esta tecnologia é “[...] um paradigma computacional com implicações profundas no relacionamento entre homens e objetos” (Singer, 2012, p.5), pelo fato de ser capaz de interligar objetos que podem agir de forma independente e autônoma da ação humana.

Lee (2015) afirma que baseado nas tendências verificadas em seu desenvolvimento há três formas de aplicação da IoT. A primeira delas é o monitoramento e controle com base em informações coletadas por sensores e automação de tarefas em tempo real. Outra aplicação é junto ao Big Data para análise e processamento de dados. Por fim, a análise de negócios através de ferramentas e sensores que, em conjunto às aplicações anteriores, facilitam as tomadas de decisão em empresas, compartilhamento de informações e colaboração de forma aprimorada.

De acordo com Loureiro et al (2003),

[...] O avanço que tem ocorrido na área de microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, microsistemas eletromecânicos (MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems) e comunicação sem fio tem estimulado o desenvolvimento e uso de sensores “inteligentes” em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros. É usual ter num único chip vários sensores, que são controlados pela lógica do circuito integrado, com uma interface de comunicação ao sem fio. Normalmente o termo “sensor inteligente” é aplicado ao chip que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. A tendência é produzir esses sensores em larga escala, barateando o seu custo, e investir ainda [...] (Loureiro et al, 2003, p.1).

Loureiro et al (2003) complementam que há diversas aplicações possíveis utilizando sensores, como monitoramento de segurança através da captação de imagem e áudio. Porém, dependendo da aplicação, os sensores coletam um grande volume de dados com frequência e por depender de um grande esforço, o processamento, a memória e o consumo de energia são maiores. Dispõe, ainda, de exemplos de aplicações de redes de sensores sem fio, como no monitoramento de fábricas na produção industrial que visam identificar vazamentos, monitoramento de dados de áreas industriais, extração de petróleo e identificação de gases críticos e monitoramento nos sistemas de distribuição de água, medindo o fluxo, pressão, temperatura e nível, que podem ser aplicados no contexto da gestão dos recursos hídricos.

Outra TIC estudada neste trabalho é o Big Data, que surgiu devido à necessidade de novas tecnologias de processamento de informações estruturadas e não estruturadas para acompanhar o crescimento contínuo do volume de dados, de modo a permitir o processamento veloz de uma quantidade muito grande de informações que as ferramentas tradicionais não eram capazes de fazê-lo.

Atualmente não há uma definição muito clara do termo Big Data, podendo ter diversos significados e associado a conceitos aplicados em cada contexto. De maneira geral, pode ser entendido como a junção de cinco V's: Volume, que diz respeito à quantidade de dados disponíveis; Variedade de fontes e tipos, como as informações estruturadas e não estruturadas; Velocidade com que as informações surgem; Veracidade dos dados e das

informações em questão; e o Valor agregado que as informações geradas após análise podem trazer (TAURION, 2013).

Nesello et al (2014) diz que Big Data pode analisar os dados em sua forma bruta, não estruturada, além de prever o que irá acontecer ao redor do mundo, com muitos detalhes. O Big Data é decorrente do avanço da computação móvel, redes sociais e a computação em nuvem que acumula um volume inestimável de dados, o que tornou necessária a criação de ferramentas para análise e gestão.

De acordo com Galdino (2016), a origem deste grande volume de dados

[...] vem basicamente de Web e redes sociais (dados de fluxo de cliques, blogs, posts, feeds de notícias), dados de transações (compras de cartão de crédito, registros de ligações e de reclamações nas empresas) dados de biometria (identificação automática, DNA, impressões digitais, reconhecimento facial) dados gerados por pessoas (privados e que devem ser protegidos por legislação, como documentos eletrônicos, exames e registros médicos, ligações telefônicas) e dados machine to machine (gerados diretamente por máquinas, como sensores, dispositivos de GPS e medidores)[...]  
(Galdino 2016, p.2)

A utilização do Big Data não se limita apenas ao processamento de um grande volume de dados, mas, também, a complexidade e velocidade com que é realizado, uma vez que o que determina a quantidade e volume de dados é o contexto, ou seja, além de seu alto poder de processamento, também torna os dados valiosos em cada contexto em que é utilizado, agregando grande valor às informações geradas de forma rápida e através de uma análise completa (Luvizan et al, 2014).

Caldas et al (2016), dizem das plataformas Big Data que

[...] são constituídas, geralmente, de um conjunto de funções que levam à alta performance do processamento de dados. Tais plataformas devem permitir que se possa interagir com dados armazenados, além de administrá-los e aplicar técnicas computacionais avançadas, a fim de extrair o máximo possível de informação de qualidade [...] (Caldas et al, 2016, p.12).

Galdino (2016) afirma que o tratamento dos dados é feito através de algoritmos inteligentes, compostos por uma sequência de instruções até que seja determinado qual decisão tomar. Ainda de acordo com Galdino (2016), a utilização de ferramentas de consulta e análise de dados estruturados, como o Structured Query Language (SQL), não é a mais recomendada por não conseguir analisar dados não estruturados, tornando-a limitada. Por este motivo houve uma busca de ferramentas do tipo Not Only SQL (NOSQL) que analisam dados não estruturados.

Galdino (2016) explica, ainda, que há diversas ferramentas de análise de dados utilizando o Big Data que atendem necessidades específicas, como Hadoop Distributed File System (HDFS) que faz a divisão dos blocos de arquivos e distribui em nós para gerenciar de forma rápida os dados; YARN que, em conjunto com o HDFS, aplica recursos distribuídos nos nós para facilitar a localização dos dados diminuindo o tráfego dos mesmos; MAP REDUCE que distribui o processamento de dados em vários servidores para fazer a organização e associação destes; Massively Parallel Processing (MPP), que faz a análise massiva de dados específicos; SPARK que realiza os processamentos através da memória com algoritmos em paralelo, tratando dados estruturados e não estruturados; e o HADOOP que é a ferramenta mais importante do Big data, por analisar os dados sem copiá-los para outro servidor e em tempo real através do framework MAP REDUCE, o gerenciamento do YARN e o sistema de distribuição de arquivos HDFS.

Galdino (2016) cita também o Machine Learning como

[...] o termo que designa o processo de ensinamento da máquina a “entender” dados que a princípio parecem não fazer sentido, processá-los e tirar algum valor disso. Pode-se usar machine learning, por exemplo, em redes sociais, posts ou tweets, com expressões diferentes das formais, por exemplo: “Pato passa em branco no jogo do tricolor”, usam-se algoritmos para que a máquina entenda que “Pato” não é um animal e sim um

jogador de futebol, “passar em branco” significa não fazer gol e “tricolor” significa um time de futebol, nesse caso, pode-se medir o nível de satisfação dos torcedores em relação ao time, ou em casos parecidos, o nível de satisfação de clientes em relação a uma empresa, através do que eles postam nas redes sociais. Algoritmos de machine learning auxiliam principalmente a transformar dados que a princípio seriam não estruturados, em dados estruturados, (Galdino 2016, p.9).

Galdino (2016) complementa que a ferramenta Machine Learning pode utilizar da computação cognitiva com sensores como o Kinect, que mapeia o corpo de um indivíduo e analisa seu comportamento através de algoritmos e inteligência artificial.

Apesar das imensas possibilidades de aplicação do Big Data, há três expectativas gerais da utilização desta ferramenta, sendo elas a capacidade de atrair dados em comum, independentemente de seu formato ou procedência, a agilidade em adaptar e processar e o nível de profundidade de detalhes com as análises realizadas.

Outro termo conhecido na literatura e nas aplicações é o de Big Data Analytics, que

[...] pode ocorrer em diferentes ramos, trazendo melhoria a processos organizacionais e apoio a tomada de decisões, tal qual Business Intelligence, que através das informações coletadas, toma estratégias para um melhor desempenho na área aplicada, e indo mais além, podendo inclusive prever tendências com base na análise de dados [...] Galdino (2016, p.9)

Silva (2016) descreve a forma de se aplicar o Big Data nos serviços de saúde pública, afirmando que através desta ferramenta é possível criar um sistema complementar às redes de vigilância epidemiológica devido à análise e processamento em massa de dados. Também é possível criar uma farmacovigilância, que identifica drogas e efeitos colaterais adversos de substâncias que até o momento encontram-se desconhecidas, utilizando-se de diversas fontes, o que torna mais precisa e confiável a informação. Por fim, é possível utilizar o Big Data para realizar o mapeamento dinâmico e geográfico do risco de doenças transmissíveis, por meio de análises de relatórios de ocorrência atualizados e mapas estatísticos.

No momento em que objetos “inteligentes”, compostos por sensores que captam dados e transmitem informações durante todo o tempo, surgiu também a necessidade de processamento dos dados gerados, análise dos mesmos e retorno ao usuário de acordo com o esperado, sendo o Big Data a melhor opção, devido à sua capacidade de processar imensas bases de dados e em tempo real.

Takaishi et al (2014) demonstra que com o crescimento crítico e significativo de produção de dados o esforço humano está se tornando cada vez mais dependente de monitoramento remoto através de sensores, como é possível perceber com a criação das chamadas “casas inteligentes” que são inteiramente controladas por sensores sem fio, incluindo temperatura, umidade, informações sobre a energia consumida, entre outras.

Takaishi et al (2014) também afirma que para que o processamento deste grande fluxo de dados gerados e obtidos através de sensores sem fio aconteça é utilizada a tecnologia Big Data, que analisa, gerencia e armazena as informações recebidas em tempo real junto ao banco de dados, podendo assim transmitir ao usuário as informações de forma clara e detalhada, além de facilitar a tomada de decisões em alguns casos.

Algumas das aplicações de Big Data que também utilizam IoT, citadas por Takaishi et al (2014), estão em fábricas que incorporam sensores para controle, monitoramento e que utilizam do Big Data para prever problemas de manutenção, garantir a segurança e melhorar os produtos. Outra aplicação encontrada é no setor de saúde, que utiliza da IoT para monitorar e obter informações sobre as condições de saúde dos pacientes, sua biometria e, através da análise destes dados, gerar relatórios, diagnósticos e identificar possíveis tratamentos de maneira eficiente.

Finalmente, com a utilização de sensores em diversos objetos e sistemas do cotidiano, torna-se cada vez mais necessária a utilização de ferramentas com alto poder de processamento para analisar a imensa quantidade de dados gerados e coletados, auxiliar na tomada de decisões, além da previsão de possíveis acontecimentos. Portanto, com os exemplos de aplicações apresentadas até o momento, percebe-se que IoT e Big Data também podem ser aplicados no contexto da gestão dos recursos hídricos.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

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 o processo decisório na gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas. 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, foram obtidos por meio de uma pesquisa bibliográfica sobre os temas bacias hidrográficas, recursos hídricos, gestão de recursos hídricos, processo decisório, IoT e BIG Data. Essa abordagem é prescritiva, uma vez que buscou-se observar maneiras diferentes de avaliar como os conceitos envolvidos se integram e se complementam.

No desenvolvimento do método, foram definidos os conceitos de bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos; descrito e dado exemplos de informações necessárias para esse processo; apresentado como essas informações podem ser obtidas e analisadas por meio de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), principalmente com o uso de IoT e Big Data, e apontado como essas TIC podem auxiliar o processo de tomada de decisão no contexto da gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

## 3. IOT E BIG DATA E O PROCESSO DECISÓRIO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Para que uma gestão sustentável dos recursos hídricos aconteça é necessário, primeiro, que haja coleta de dados sobre a situação das bacias hidrográficas, em termos de disponibilidade e de consumo da água, e que todos estes dados gerados em tempo real sejam processados e se tornem informações importantes para a tomada de decisões de forma efetiva.

A coleta de dados visa compreender a quantidade e qualidade da água presente nos reservatórios, bacias hidrográficas, e que serão tratadas para reutilização. As informações geradas também são utilizadas para analisar possíveis tendências e elaborar formas de lidar com tais situações, detectar algum problema na água armazenada que será distribuída, receber avisos sobre os valores críticos obtidos fora do padrão de normalidade, analisar medidas corretivas e fornecer, portanto, subsídios para facilitar as decisões a serem tomadas para uma gestão eficaz.

A melhor forma de se obter simultaneamente os valores e parâmetros importantes para a gestão dos recursos hídricos é apresentada através da tecnologia IoT, que é composta por uma gama de sensores que pode auxiliar na coleta de informações, conforme exemplificados e descritos na tabela 2. Os sensores, espalhados por todo o espaço que compreende a bacia hidrográfica, podem capturar em tempo real e armazenar dados gerados em um sistema de banco de dados, o que possibilita o monitoramento remoto das bacias hidrográficas e reservatórios, após as análises efetuadas.

Além da rede de sensoriamento remoto, é necessária uma base de dados organizada e de tecnologias com alto poder de processamento, como o Big Data, para que toda a massa de dados obtida seja analisada, seja tratada e se torne informações, aponte a situação atual da disponibilidade dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica, faça projeções e previsões futuras e sugestões de ações para que o recurso água não falte.

A tabela 2 foi construída para exemplificar algumas das informações primordiais sobre a quantidade e qualidade da água, usadas na tomada de decisão quanto à gestão dos recursos hídricos, e como as TIC IoT e Big Data podem auxiliar nesta análise. As informações contidas na tabela 2 são provenientes dos referenciais contidos na tabela 1.

Algumas das informações importantes para a gestão dos recursos hídricos, elucidadas na tabela 2 e que devem ser monitoradas através de sensores, devem ser, por exemplo, a vazão dos cursos de água, índice

pluviométrico diário, controle de cheias, nível de água presente nos reservatórios, consumo nas cidades e indústrias, para que seja levado em consideração a quantidade de água disponível para a distribuição e reutilização

**Tabela 2 – Utilização de IoT para auxiliar na coleta de informações**

Ciclo de vida da água	Informações	Utilização de IoT para coleta das informações
Geração por meio de ciclos hidrológicos naturais	Vazão dos cursos de água	Transmissor de nível e vazão ultrassônico.
	Índice pluviométrico diário	Pluviômetro digital.
	Controle de cheias	Transmissor de nível ultrassônico ou transmissor nível de boia magnética.
Retenção e armazenamento	Nível de água existente nos reservatórios	Transmissor de nível ultrassônico ou transmissor nível de boia.
	Temperatura da água	Sonda ou sensor de temperatura da água no reservatório.
	Pressão da água	Sensor de pressão da água do reservatório.
	Sólidos dissolvidos e sedimentares	Sensores de nível ultrassônico e eletrodos.
Captação e tratamento	Controle da qualidade da água	Sensor capaz de medir parâmetros de qualidade da água.
	Medição do PH da água	Sensor de PH.
	Medição da turbidez da água	Sensor turbidímetro.
	Medição de gases e substâncias	Sensor que capta a quantidade de certos gases e substâncias químicas presentes na água do reservatório
Distribuição e consumo	Consumo de água em uma cidade	Sensor hidrômetro que é capaz de medir o consumo de água.
	Medição de vazão para auxiliar no controle de perda de água	Sensores que medem vazão para identificar perda de água.
	Consumo de água industrial	Sensor hidrômetro industrial.
Tratamento e devolução para reuso	Medir quantidade de oxigênio dissolvido na água	Sensor de oxigênio dissolvido na água
	Medição de padrões microbiológicos	Sensor de fibra óptica e luz laser.
	Cor da água	Sensor de cor.

Fonte: autores do trabalho

Outras características como temperatura, pressão, coloração, PH e turbidez da água, presença de sólidos, quantidade de oxigênio dissolvido e padrão dos microrganismos e substâncias encontradas na água são medidas da qualidade da água armazenada e destinada ao tratamento e podem ser obtidas por meio da tecnologia IoT.

Baseando-se no ciclo de vida da água, da geração por meio de ciclos hidrológicos naturais, entre as principais informações utilizadas para a gestão dos recursos hídricos estão a medida de vazão nos cursos de água e controle de cheias, que são possíveis de se obter através de transmissores de nível e vazão ultrassônico, que podem até medir sem contato com o meio, de modo a identificar escoamentos e seu nível durante o percurso e transmissores de nível de boia magnética que identifica o nível da água no reservatório.

Com a análise destas informações coletadas, realizada por meio de aplicações de Big Data é possível prever cheias. Outra informação obtida deste ciclo é o índice pluviométrico que utiliza sensor pluviômetro digital que capta diariamente o volume de chuvas. A análise destas informações ao longo da bacia hidrográfica permite avaliar em tempo real, por meio de aplicações Big Data, a disponibilidade de água, além de fazer previsões futuras.

Em relação à fase de retenção e armazenamento, as informações utilizadas para a tomada de decisão são o nível de água presente nos reservatórios e represas, que são obtidos através de transmissores de nível, a temperatura da água, captada por sensores de temperatura, pressão da água, medida por um sensor específico e a quantidade de sólidos sedimentares e dissolvidos obtida por sensores de nível ultrassônico e eletrodos. Com estas informações coletadas em tempo real, o Big Data também pode fazer projeções sobre a disponibilidade de água.

No ciclo de vida da água relacionado à captação e tratamento, dentre os dados necessários para a gestão estão o controle da qualidade da água, a medida de PH e de turbidez, quantidade de gases e substâncias presentes. Tais informações podem ser obtidas por meio de sensores capazes de medir parâmetros de qualidade da água, como clorofila e oxigênio dissolvido, sem a necessidade de reagentes químicos, além do sensor de PH, turbidimetria, que capta a presença e quantidade de gases e substâncias. Com essas informações o Big Data também pode fazer análise e projeções.

Outra etapa do ciclo de vida da água é a distribuição e consumo, nas quais os indicadores necessários para determinar o que deve ser feito são os valores do consumo de água da cidade e das indústrias, a curto e longo prazo, adquiridos com o auxílio do sensor hidrômetro industrial, que é capaz de medir o consumo de água e a medida da vazão para auxiliar no controle de perda de água através de transmissores de nível e vazão. Neste caso, o Big Data pode também ser usado para processar os dados, analisar e comparar com valores padrão, para assim determinar se há algum problema com a água, antes de ser distribuída para consumo.

Por fim, a fase do ciclo de vida da água que compreende tratamento e devolução para reuso dispõe dos dados sobre a quantidade de oxigênio presente na água, de microrganismos e a coloração da água, medidos com sensores de oxigênio, de fibra óptica e luz laser capazes de detectar a quantidade de microrganismos presentes na água.

A tabela 3 sintetiza as principais aplicações de BIG data que podem auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos.

**Tabela 3 – Aplicações de Big Data na gestão de recursos hídricos**

<b>Ciclo de vida da água</b>	<b>Utilização de Big Data</b>
Geração por meio de ciclos hidrológicos naturais	Análise de dados sobre vazão nos cursos de água, controle e prevenção de cheias.
Retenção e armazenamento	Projeções sobre a disponibilidade de água para distribuição, analisando dados como nível, temperatura, pressão e quantidade de sólidos na água.
Captação e tratamento	Geração de informações a respeito da qualidade da água, com base no ph, turbidez e quantidade de substâncias e microrganismos.
Distribuição e consumo	Análise dos dados de consumo de cidades, indústrias e agropecuária para determinar a distribuição e medidas a serem tomadas com relação ao consumo.
Tratamento e devolução para reuso	Análise de informações sobre qualidade e quantidade de água para determinar o reuso, como quantidade de oxigênio e coloração

Fonte: autores do trabalho

Após a coleta de dados de todos os pontos citados, com a utilização de uma rede de sensores IoT, conforme informações exemplificadas na Tabela 2, o Big Data terá um papel indispensável para processar toda a massa de dados captados em tempo real, analisar as informações geradas e retornar aos gestores, a situação atual da disponibilidade de água na bacia hidrográfica, a necessidade de consumo e previsões futuras, fornecendo, assim, informações e subsídios para auxiliar no processo decisório na gestão dos recursos hídricos.

## CONCLUSÃO

O presente texto teve como objetivo verificar como o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação, como IoT e Big Data, podem auxiliar no processo decisório da gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Com base no levantamento bibliográfico realizado acerca do que foi proposto é possível afirmar que as Tecnologias da Informação e Comunicação podem, por meio da coleta e análise de dados, ser muito úteis para gerar informações e subsídios para auxiliar o processo decisório no contexto da gestão dos recursos hídricos em todas as etapas do ciclo de vida da água.

Isso pode ser feito por meio de redes de sensores IoT espalhadas por todo espaço geográfico existente em uma bacia hidrográfica, coletando dados importantes em todo o ciclo de vida da água e, de posse dos dados, aplicações de Big Data podem analisá-los em tempo real e fazer projeções sobre a disponibilidade hídrica de uma determinada região. Dessa forma, as aplicações de Big Data e IoT podem melhorar a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, principalmente para avaliar se o recurso água vai ser suficiente para atender a demanda.

Com o apoio da IoT e Big Data as etapas do ciclo de vida da água, como gerado por meio de ciclos hidrológicos naturais, retenção e armazenamento, captação e tratamento, distribuição e consumo e tratamento e devolução para reuso, terão informações concretas e confiáveis gerados em tempo real, otimizando o processo, evitando a falta de água para o consumo em cidades, indústrias e agricultura e garantindo a qualidade da mesma, além da possibilidade de projetar situações futuras, receber sugestões de medidas a serem tomadas, ampliar o monitoramento das áreas da bacia e notar variações dos valores padrão de parâmetros adotados no sistema para serem corrigidos.

Apensar da existência destas TIC, limitações tecnológicas ainda persistem como por exemplo a necessidade de a internet chegar a locais distantes com boa qualidade, fato que deve ser resolvido com a tecnologia de comunicação 5G. Outro problema de natureza social que deve ser avaliado é a questão de segurança dos sensores IoT espalhados ao longo do espaço de uma bacia hidrográfica, uma vez que podem existir furtos destes dispositivos que inviabilizem a coleta de dados em tempo real.

Uma possível continuação deste estudo seria relacionar os principais indicadores úteis para a gestão de recursos hídricos e apresentar quais deles podem ser calculados com a utilização de TIC como IoT e Big Data.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo bolsa PIBITI recebida que possibilitou desenvolver este trabalho.

## REFERENCES

- Berger, M; Finkbeiner, M. Water footprinting: how to address water use in life cycle assessment? Sustainability, v. 2, n. 4, p. 919-944, 2010.
- Braga, B; Barbosa, P. S. F; Nakayama, P. T. Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.
- Caldas, M. S; Silva, E. C. C. Fundamentos e aplicação do Big Data: como tratar informações em uma sociedade de yottabytes, 2016.
- Chaffin, B. C; Garmestani, A. S; Gunderson, L. H; Benson, M. H; Angeler, D. G; Arnold, C. A; Allen, C. R. Transformative environmental governance. Annual Review of Environment and Resources, v. 41, p. 399-423, 2016.
- Davenport, T. H; Barth, P; Bean, R. How Big Data Is Different. MIT Sloan Management Review, v. 54, n.1, 2012.
- Fernandes, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. Simpósio nacional sobre o uso de água na agricultura., 2006.
- Galdino, N. Big Data: ferramentas e aplicabilidade. In Congresso De Engenharia, 2016.
- Gil, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.
- Laudon, K. C; Laudon, J. P; Marques, A. S. Sistemas de informação gerenciais. Pearson Educación, 2004.
- Lee, I; Lee, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.
- Lopes, M. et al. Sistema de suporte a decisões aplicado ao monitoramento de recursos hídricos: estudo de caso Bacias. GeAS v.10, n.1, 2021.

- Loureiro, A. A; Nogueira, J. M. S; Ruiz, L. B; Mini, R. A. D. F; Nakamura, E. F; Figueiredo, C. M. S. Redes de sensores sem fio. In Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), p. 179-226, 2003.
- Luvizan, S; Meirelles, F; Diniz, E. H. Big Data: publication evolution and research opportunities. In Anais da 11a Conferência Internacional sobre Sistemas de Informação e Gestão de Tecnologia. São Paulo, SP, 2014.
- Magalhães, R. C; Barp, A. R. B. Inovações metodológicas para construção de cenários estratégicos em bacias hidrográficas. RAI Revista de Administração e Inovação, v. 11, n. 3, p. 200-226, 2014.
- O'brien, J. A; Marakas, G. M. Administração de sistemas de informação. McGraw Hill Brasil, 2013.
- Porto, M. F; Porto, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos avançados, 2008.
- Rainer Jr, R.K; Cegielski, C.G. Introdução a Sistemas de Informação. Rio de Janeiro: Campus, 2012.
- Santaella, L; Gala, A; Policarpo, C; Gazoni, R. Desvelando a Internet das Coisas. Revista GEMInIS, v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.
- Schmitz, A. P; Bittencourt, M. V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 47, n. 2, p. 329-363, 2017.
- Schnoor, J.L. LCA and Environmental Intelligence? Environ. Sci. Technol. 2009.
- Silva, F. A. B. Big data e nuvens computacionais: aplicações em saúde pública e genômica. Journal of Health Informatics, v. 8, n. 2, 2016.
- Silveira, D. T., Córdova, F. P. A pesquisa científica. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 33-44, 2009.
- Singer, T. Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas. Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade, v. 2, p. 1-15, 2012.
- Souza Filho, F. D. A. D. Recursos hídricos e agenda de tecnologias e inovação no Nordeste. Parcerias Estratégicas, v. 20, n. 41, p. 149-174, 2016.
- Takaishi, D; Nishiyama, H; Kato, N; Miura, R. Toward energy efficient Big data gathering in densely distributed sensor networks. IEEE transactions on emerging topics in computing, v. 2, n. 3, p. 388-397, 2014.
- Taurion, C. Big data. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.
- Trojan, F. Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18960>
- Whitmore, A; Agarwal, A; Xu, L. D. The Internet of Things – A survey of topics and trends. Inf Syst Front, v. 17, p. 261-274, 2014.