**Bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis: uma proposta a partir do estudo de conceitos e aplicações sobre cidades inteligentes**

**Emílio José Biasi**

Engenharia de Software

CEATEC

emilio.jb@puccampinas.edu.br

**Orandi Mina Falsarella**

Informação para Gestão e Inovação

CEA

orandi@puc-campinas.edu.br

**Resumo:** *Com as mudanças climáticas afetando a disponibilidade regular de água, novas possibilidades devem ser incorporadas à gestão dos recursos hídricos. Dado que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) são capazes de contribuir em outros contextos para melhorar a qualidade de vida das pessoas, este trabalho busca* *estudar os conceitos e aplicações de cidades inteligentes para saber como eles podem subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O estudo é de caráter exploratório e qualitativo e, baseado em dados bibliográficos coletados em revisão de literatura descreve aplicações que podem tornar mais inteligente o processo de gestão da água nas bacias hidrográficas.*

**Palavras-chave:** *Gestão de recursos hídricos, Tecnologias da informação e comunicação, Bacias hidrográficas inteligentes.*

**Área do Conhecimento:** *6.00.00.00-7 Ciências Sociais Aplicadas; 6.02.00.00-6 Administração.*

1. **INTRODUÇÃO**

O crescimento econômico sustentável melhora a qualidade de vida ao investir em capital humano e social e infraestrutura moderna. Isso se alinha ao conceito de cidades inteligentes, que usam soluções inovadoras para serviços urbanos melhores [Caragliu et al., 2011]. Cidades inteligentes possuem sistemas integrados visando a melhoria dos serviços aos cidadãos [Nam e Pardo, 2011]. Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) são fundamentais para lidar com a complexidade urbana [Toppeta, 2010], combinando capital humano, social e TIC para desenvolvimento sustentável e cidadania [Yigitcanlar et al., 2018]. TIC coleta, processa e dissemina dados, melhorando a vida urbana. Aplicar conceitos de cidades inteligentes pode beneficiar convivência e qualidade de vida em cidades complexas. Água é essencial, mas sua gestão é desafiadora, especialmente em crises hídricas [Gleick e Iceland, 2018]. Segurança hídrica é garantir água em qualidade e quantidade, mas isso transcende limites da cidade, envolvendo bacias hidrográficas. Questiona-se se conceitos de cidades inteligentes podem auxiliar na gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas. O estudo visa entender como conceitos de cidades inteligentes podem contribuir para gestão sustentável de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

1. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 
   1. **Cidades Inteligentes, Conceitos, Tecnologias e Aplicações**

Na década de 1990, o conceito de "cidades digitais" precedeu as "cidades inteligentes", enfocando a infraestrutura digital para estimular inovações nas esferas governamentais, empresariais e sociais, com inclusão e transparência em mente [Lemos, 2013]. A base das cidades inteligentes é a infraestrutura tecnológica, envolvendo dispositivos eletrônicos para coleta, processamento e transmissão de dados [Farias et al., 2011]. Desafios cruciais incluem garantir segurança e privacidade, gerenciar grandes volumes de dados, adaptar-se ao crescimento populacional, integrar sistemas diversos e permitir interações eficazes [Kon e Santana, 2016]. Sensores integrados e monitoramento em tempo real permitem a interação do governo com a cidade e sua comunidade, usando dados para eliminar ineficiências urbanas [Cunha e Baracho, 2019]. Ao analisar os conceitos de cidades inteligentes aqui expostas, verifica-se algumas TICs que aparecem com mais frequência, as quais compõem a infraestrutura de suas aplicações. Entre todos os recursos avançados, os vocábulos Internet das Coisas, do inglês Internet of Things (IoT), Big Data, Computação em Nuvem e Inteligência Artificial são indispensáveis.

* 1. **Internet of Things (IoT)**

A Internet das Coisas (IoT) é um termo que combina "Internet" como protocolo de comunicação e "Coisas" como objetos diversos, formando uma infraestrutura global de dispositivos conectados que trocam dados através de endereços IP [Bassi e Horn, 2008]. É um ecossistema que conecta objetos físicos para trocar, armazenar e coletar dados, tornando-se relevante ao conectar objetos do cotidiano, permitindo a comunicação entre pessoas e objetos, bem como entre os próprios objetos [Carrion e Quaresma, 2019]. Exemplos de aplicação de IoT em cidades inteligentes incluem monitoramento de tráfego, estacionamento, segurança, qualidade do ar e clima [Krishnamachari et al., 2018]. Combinando tecnologias de computação, protocolos de comunicação da internet, redes de sensores sem fio e tecnologias de sensoriamento, IoT torna o ambiente mais integrado e inteligente [João, Souza e Serralvo, 2020].

* 1. **Big Data**

Big Data é crucial em aplicações de cidades inteligentes [Ward e Barker, 2013]. O termo está associado ao armazenamento e análise de dados [Ward e Barker, 2013]. Possui cinco dimensões: Volume (terabytes e petabytes disponíveis), Variedade (dados estruturados, semiestruturados e não-estruturados), Velocidade (geração e análise de dados), Veracidade (confiabilidade dos dados) e Valor (enriquecimento dos dados) [Debattista et al., 2015]. O Big Data armazena e processa dados para melhorar serviços urbanos. É usado em energia, saúde, transporte e outras áreas [Coutinho, 2019]. Com o Big Data presente nas cidades torna-se possível o armazenamento e processamento eficiente de dados, gerando, assim, informações úteis com o potencial de aprimorar os diversos serviços que a cidade disponibiliza.

* 1. **Computação em Nuvem**

A complexidade na construção de infraestruturas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), que inclui instalação, configuração e atualização de software pelo usuário, impulsionou a adoção da computação em nuvem como uma solução tecnológica [SOUSA; MOREIRA; MACHADO, 2009]. Define-se a computação em nuvem como um ambiente computacional que se baseia em uma rede de servidores, sejam virtuais ou físicos. Esse modelo representa uma abordagem inovadora, permitindo o acesso a serviços e aplicações de forma independente da localização do usuário, da plataforma de acesso e do local onde os dados serão armazenados [Taurion]. A infraestrutura e as aplicações são centralizadas em data centers e compartilhadas como serviços através da internet [PEDROSA; NOGUEIRA, 2011]. A computação em nuvem emerge como uma resposta eficiente aos desafios da criação e manutenção de infraestruturas de TIC, permitindo uma abordagem flexível e descentralizada na oferta de serviços e aplicativos. Isso amplia a acessibilidade e a disponibilidade de recursos, independentemente da localização física, promovendo uma experiência mais integrada e conveniente para os usuários.

* 1. **Inteligência Artificial**

A Inteligência Artificial (IA) automatiza tarefas intelectuais e tem amplo potencial em várias áreas [Russell e Norvig, 2004]. Quatro linhas de pensamento definem a IA: sistemas que pensam e atuam como humanos, sistemas que pensam racionalmente, sistemas que atuam como humanos e sistemas que atuam racionalmente [Gomes, 2010]. Define-se a IA como a ciência e a engenharia de criar máquinas com funções cerebrais humanas [Kaufman]. Um exemplo é a aplicação e-Noé, que utiliza IA para monitorar rios urbanos com sensores sem fio, permitindo previsões de enchentes e otimização do transporte público [Cruz, Barcellos e Bernardini, 2020]. Diversos conceitos de cidades inteligentes convergem em objetivos e fundamentos, buscando aplicar TIC de forma sustentável para melhorar a qualidade de vida, preservar o ambiente e impulsionar a economia. A Tabela 1 apresenta algumas aplicações de cidades inteligentes que podem ser adaptadas para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

**Tabela 1 - Aplicações de cidades inteligentes.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nome da aplicação** | **Descrição** | **Citação** |
| Risk Assessment and Horizon Scanning (RAHS) - Segurança Pública | Atua no âmbito do Centro Nacional de Coordenação de Segurança, que recolhe e analisa conjuntos de dados em grande escala, gerenciando proativamente ameaças, como ataques terroristas, doenças infecciosas e crises financeiras. Uma aplicação que capacita a realização de projeções e possíveis cenários. | [AL NUAIMI, et al. (2015)] |
| Horizon Scanning Centre (HSC) - Recursos Naturais e Energia | Consiste em um projeto do Reino Unido que, através de análises aprofundadas sobre múltiplos canais de dados (Big Data), aborda sobre as mudanças climáticas e seu impacto na disponibilidade de alimentos e água, nas tensões regionais e na estabilidade e segurança nacional. | [AL NUAIMI, et al. (2015)] |

Fonte: Elaboração própria (2023)

* 1. **Bacias Hidrográficas e Gestão dos Recursos Hídricos**

Estudos recentes sobre bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos têm crescido devido à relevância desses temas diante das mudanças climáticas e da possível escassez de água. A gestão eficaz das bacias hidrográficas é essencial para entender seu comportamento e garantir a disponibilidade sustentável de água [Teodoro et al., 2007]. A bacia hidrográfica é a área onde a água da chuva é coletada e direcionada para um ponto de saída único, composta por vertentes e uma rede de cursos d'água [Tucci, 2001; Porto e Porto, 2008]. A escassez de água e sua distribuição desigual globalmente destacam a importância de uma gestão rigorosa [Tundisi, 2003]. A gestão eficaz de recursos hídricos por meio de TIC pode fornecer dados sobre a disponibilidade de água e riscos. O conceito de segurança hídrica surgiu na década de 1990, ganhando destaque após a crise hídrica em São Paulo [Johnsson, 2018]. No Brasil, a Lei Federal Nº 9.433/1997 instituiu a política Nacional de Recursos Hídricos, com objetivos como a garantia de água de qualidade para as gerações atuais e futuras e o uso racional dos recursos hídricos [Brasil, 1997]. A gestão hídrica eficaz é fundamental para fornecer melhores serviços à população e desenvolver atividades produtivas nas bacias hidrográficas. Os autores propõem o conceito de Bacias Hidrográficas Inteligentes, similar às Cidades Inteligentes, como uma necessidade.

1. **METODOLOGIA**

O estudo subjacente a este artigo é uma pesquisa exploratória devido à novidade do tema [GIL, 2008]. Esse tipo de pesquisa facilita a compreensão e divulgação do assunto [Silveira e Córdova, 2009] e é apropriado para investigar temas pouco explorados [SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 1991]. Dados qualitativos foram obtidos por pesquisa documental e bibliográfica, analisando conceitos e aplicações de cidades inteligentes, bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos. Essa abordagem é prescritiva, explorando formas de avaliar integração de conceitos. A pesquisa define termos, tecnologias de informação, conceitos de bacias e gestão hídrica, destacando relação entre cidades inteligentes e gestão hídrica em bacias.

1. **BACIAS HIDROGRÁFICAS INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

Ao estudar detidamente o conceito de bacias hidrográficas, é perceptível que vários outros assuntos complexos a elas se relacionam, exigindo uma base sólida e multidisciplinar do conhecimento que envolve a gestão dos recursos hídricos. A água, insubstituível e essencial, torna a gestão hídrica fundamental para a sociedade, com impactos diretos na vida dos cidadãos quando bem executada.  
Assim como as TICs beneficiam cidades inteligentes, suas aplicações e adaptações são valiosas para coletar e analisar dados em bacias hidrográficas. Isso otimiza a gestão, planejamento e uso dos recursos hídricos, reforçando a segurança hídrica em regiões específicas. Tomando por base as aplicações que já foram descritas no contexto das cidades inteligentes, observa-se que, a partir delas e dos recursos de TIC por elas usadas, algumas podem influenciar diretamente nos mecanismos utilizados como suporte à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Com este propósito, a seguir são apresentadas algumas sugestões destas aplicações. O Serviço Inteligente de Coleta de Lixo em Barcelona utiliza sensores em lixeiras para notificar quando estão cheias, evitando a poluição dos recursos hídricos. Esses sensores, baseados em IoT, enviam alertas para o controle da coleta, prevenindo o arrastamento do lixo pela chuva para mananciais e esgoto. O Centro Integrado de Comando (CEIC) em Porto Alegre é um centro de monitoramento georreferenciado com câmeras interconectadas e sensores que auxiliam no monitoramento público. Sua capacidade tecnológica, embora focada em aspectos urbanos, poderia contribuir para a gestão hídrica ao coletar dados pluviométricos das chuvas. Isso poderia ser incorporado à formação de uma base de dados para melhorar a tomada de decisões nesse campo.  
O CEIC coleta dados pluviométricos, exemplificando o conceito de bacias hidrográficas inteligentes. Assim, expandindo esse conceito, seria interessante a criação de um Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC), cujo propósito seria o de receber informações coletadas dos espaços territoriais das bacias hidrográficas (aplicações de IoT) e processá-las, gerando subsídios para facilitar o processo de tomada de decisão da gestão dos recursos hídricos (aplicações de Big Data e Inteligência Artificial). O Horizon Scanning Centre (HSC) do Reino Unido analisa Big Data relacionado a mudanças climáticas e suas consequências, como a disponibilidade de recursos e segurança. Pode ser aplicado em bacias hidrográficas inteligentes para análise detalhada e monitoramento contínuo das mudanças climáticas, fornecendo informações essenciais para o planejamento hídrico. Integrar o HSC ao Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC) aprimoraria a gestão de recursos hídricos com dados sólidos e análises precisas. O Risk Assessment and Horizon Scanning (RAHS), programa que atua no âmbito do Centro Nacional de Coordenação de Segurança de Singapura, é um centro responsável por recolher e analisar dados em grande escala, gerenciando proativamente ameaças, como ataques terroristas, doenças infecciosas e crises financeiras (AL NUAIMI et al, 2015). Apesar de atuar na gerência de diversas crises diferentes, com a estrutura de análise e de gerenciamento de dados em grande escala oferecido pelo RAHS, é possível que essas funcionalidades sejam direcionadas para tratar de questões envolvendo recursos hídricos, contribuindo na parte de análise e auxiliando nas tomadas de decisão. Com o RAHS reforça-se a necessidade de criação do CIMRC. O NEdNet na Tailândia é um sistema integrado que abrange educação, infraestrutura de rede e serviços de aprendizagem. Ele suporta o entendimento para educadores, promove a aprendizagem personalizada e auxilia em decisões gerenciais na educação. Segundo os autores, também pode influenciar a dinâmica de aprendizagem e a capacidade de aprender dos indivíduos. Quando direcionado ao meio ambiente, o NEdNet pode ser um recurso valioso para a educação ambiental, abordando tópicos como desperdício de água, ciclo hidrológico e poluição hídrica. Essa abordagem poderia ser integrada ao CIMRC para orientar sobre a segurança hídrica em tempo real. O e-Noé é uma solução composta por sensores sem fio para monitorar rios urbanos. Dados capturados pelos sensores submersos possibilitam o registro das alterações no nível da água. Com Inteligência Artificial, previsões de enchentes podem ser feitas. Essa aplicação se relaciona com gestão hídrica e bacias hidrográficas inteligentes. Sensores em rios poderiam coletar dados para auxiliar decisões em cheias ou escassez, integrando-se ao CIMRC. Diante do volume de dados que o CIMRC pode receber e processar, o conceito de computação em nuvem pode ser aqui aposto, uma vez que todas as aplicações, dados e informações ficam reunidos em data centers e são acessados por meio da internet. Cada uma das aplicações e sistemas citados neste estudo possuem, obviamente, funções e funcionamentos distintos, ainda assim, todas tendem para o mesmo objetivo e se interconectam por este ponto. Aceito isso, sugere-se que o CIMRC auxiliaria na conectividade de todos os serviços, facilitando toda a integração existente entre eles.

1. **CONCLUSÕES**

O estudo se propôs a explorar o uso de TICs para desenvolver o conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis. Baseando-se em conceitos e aplicações de cidades inteligentes, enfatizou-se a importância das TICs para a melhoria da qualidade de vida. A criação de um Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC) foi proposta para centralizar informações relacionadas à segurança hídrica da região da bacia hidrográfica. Esse centro automatizado utilizaria recursos como sensores e dados climáticos para melhorar a gestão dos recursos hídricos, permitindo análises e subsídios para tomadas de decisões eficazes em tempo real. A combinação de IoT, Computação em Nuvem, Big Data e Inteligência Artificial seria utilizada para alcançar eficiência na gestão hídrica. Os autores destacam que as soluções tecnológicas são exploratórias, fundamentadas na literatura, e sugerem a continuidade dos estudos e a implementação prática das soluções propostas para aprofundar o conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis.

# AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela oportunidade e incentivo de desenvolver pesquisa no país e pela bolsa PIBIC recebida.

# REFERÊNCIAS

1. AB-PCJ, Agência das Bacias PCJ, localização, disponível em: https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/.
2. ALMEIDA, M.B. e 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.
3. 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.
4. CHAFFIN, B. C. et al. Transformative environmental governance. Annual Review of Environment and Resources, v. 41, 2016.
5. CALDAS, Max Silva; SILVA, Emanoel Costa Claudino. Fundamentos e aplicação do Big Data: como tratar informações em uma sociedade de yottabytes. 2016.
6. 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.
7. 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 de doutorado
8. 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.
9. GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
10. 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, 2017.
11. LIMA, Ellen Lima et al. Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem. 2018.
12. 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, 2010.
13. MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik, Big data: the management revolution, Harvard Business Review, October, 2012
14. MIRANDA, Graziele Muniz. Indicadores do potencial de gestão municipal de recursos hídricos. 2012.
15. 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, 2021.
16. DE MORAES, Luiza Alice Ferreira; DE SOUZA FILHO, Edvard Elias. Indicadores ambientais e desenvolvimento sustentado. Acta Scientiarum. Technology, v. 22, p. 1405-1412, 2000.
17. 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.
18. NEVES, Mateus Aparecido Tonin. Internet das coisas (IOT): introdução e visão geral de aplicações. 2021
19. PORTO, Monica, F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008
20. SANTIN, Janaína Rigo e GOELLNER, Emanuelle. A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso. Sequência (Florianópolis) [online]. 2013.
21. SOARES, A. B.; SILVA FILHO, J. C. L.; ABREU, M. C. S.; SOARES, F. A. 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, 2011.
22. SUGAHARA, C. R.; MARTINS, A. M; BUENO, J. O. A.; WATANABE, A. M; GONÇALVES, D. A. G., JUCÁ, L. B. Q. e & MARIOSA, D. F. Avaliação da sustentabilidade das bacias PCJ a partir de indicadores de disponibilidade e demandas hídricas. II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas. 2020
23. TAURION, Cezar. Big data. Brasport, 2013.
24. 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.