

BACIAS HIDROGRÁFICAS INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: UMA PROPOSTA A PARTIR DO ESTUDO DE CONCEITOS E APLICAÇÕES SOBRE CIDADES INTELIGENTES

SMART WATERSHEDS SUSTAINABLE: A PROPOSAL BASED ON THE STUDY OF CONCEPTS AND APPLICATIONS ABOUT SMART CITIES

CUENCAS HIDROGRÁFICAS INTELIGENTES Y SOSTENIBLE: UNA PROPUESTA BASADA EN EL ESTUDIO DE CONCEPTOS Y APLICACIONES SOBRE LAS CIUDADES INTELIGENTES

Emílio José Biasi¹
Orandi Mina Falsarella²
Duarcides Ferreira Mariosa³

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; Cidades inteligentes; Tecnologias da Informação e Comunicação; Bacias hidrográficas inteligentes.

¹ Graduando. Curso de Engenharia de Software da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. <https://orcid.org/0009-0007-9527-0415>. E-mail: emilio.jb@puccampinas.edu.br

² Doutor. Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. <https://orcid.org/0000-0002-2200-5094>. E-mail: orandi@puc-campinas.edu.br.

³ Doutor. Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. <https://orcid.org/0000-0001-6552-9288>. E-mail: duarcidesmariosa@puc-campinas.edu.br.

Abstract: With climate change affecting the regular availability of water, new possibilities must be incorporated into managing water resources. Given that Information and Communication Technologies (ICT) can contribute in other contexts to improving people's quality of life, this work seeks to study the concepts and applications of smart cities to find out how they can support the sustainable management of water resources in watersheds. The study is exploratory and qualitative and, based on bibliographic data collected in a literature review, it describes applications that can make water management in hydrographic basins more intelligent.

Keywords: Water resources management; Smart cities; Information and Communication Technologies; Smart watersheds.

Resumen: Con el cambio climático afectando la disponibilidad regular de agua, se deben incorporar nuevas posibilidades en la gestión de los recursos hídricos. Dado que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) pueden contribuir en otros contextos a mejorar la calidad de vida de las personas, este trabajo busca estudiar los conceptos y aplicaciones de las ciudades inteligentes para conocer cómo pueden apoyar la gestión sostenible de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas. El estudio es exploratorio y cualitativo y, basado en datos bibliográficos recogidos en una revisión de literatura, describe aplicaciones que pueden hacer más inteligente la gestión del agua en cuencas hidrográficas.

Palabras-clave: Gestión de los recursos hídricos; Ciudades inteligentes; Tecnologías de la Información y la Comunicación; Cuencas hidrográficas inteligentes.

Submetido 06/07/2023

Aceito 10/10/2023

Publicado 07/11/2023

Introdução

À medida que enfrentamos os desafios do século XXI relacionados à sustentabilidade urbana, a necessidade premente de repensar e inovar nossas cidades surge como resposta a essas complexidades. Nas cidades inteligentes, a sustentabilidade emerge como um princípio importante, com foco não apenas no bem-estar humano, mas também na preservação ambiental e na promoção da igualdade social (TORRES *et al*, 2021). Conti *et al* (2022) caracterizam que cidades inteligentes representam uma visão de onde as cidades desejam estar no futuro, transformando-se por meio do uso extensivo de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) e redes de inovação, promovendo a interconexão entre cidadãos, governos, empresas e instituições educacionais.

Carvalho *et al* (2020) enfatizam que as TICs desempenham papel fundamental na resolução dos principais desafios associados à urbanização, aprimorando tanto a administração das cidades quanto a qualidade de vida de seus habitantes. Yigitcanlar *et al* (2018) complementam ao afirmar que a combinação de capital humano, capital social e TIC contribuem para o incremento de políticas públicas, desenvolvimento sustentável, e que permitem melhor convívio da sociedade, o que reforça o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis.

Com base nas principais contribuições de estudos brasileiros sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes, Lazzaretti *et al* (2019) sugerem o uso de algumas tecnologias e/ou aplicações. As áreas mais exploradas seriam aquelas que incluem o aprimoramento das TICs para facilitar a gestão urbana, a criação de soluções, dispositivos ou sensores para monitorar questões urbanas, a implementação de dispositivos para promover a participação cidadã na administração municipal e o desenvolvimento de soluções para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais e energia em cidades inteligentes.

Observa-se, portanto, que para gerenciar a complexidade das cidades, proporcionando melhor qualidade de vida para as pessoas, com ações que tragam responsabilidade social e sustentabilidade, e melhorar os serviços prestados pelo poder público, é fundamental a utilização de TIC, uma vez que estas soluções são responsáveis por coletar dados, processá-los

e analisá-los e, assim, disseminar informações que auxiliam as atividades das pessoas físicas e de organizações públicas e privadas, sejam elas operacionais, táticas ou estratégicas.

Cidades, sejam elas grandes ou pequenas, com muitos ou poucos habitantes, são entidades complexas, pois possuem muitos atores que convivem e trabalham em um mesmo espaço físico, produzindo riquezas, pagando seus impostos, recebendo serviços prestados pelo poder público e convivendo com seus pares, nem sempre em harmonia ou para o bem da coletividade. Refletindo sobre este espaço complexo, mostrando a relevância que teria o conceito de cidades inteligentes com a utilização de TIC, espera-se que as aplicações decorrentes de seu uso possam contribuir para a melhoria da qualidade de vida e convivência entre as pessoas.

Um dos grandes problemas das cidades é como garantir às pessoas o acesso aos insumos necessários para que possam continuar vivendo adequadamente no espaço (ABDALA *et al*, 2014). Um dos insumos mais importantes e preocupantes para a gestão pública é a água que, em muitas situações, é escassa, de difícil tratamento e distribuição, e está submetida a crises hídricas recorrentes, causadas pelos efeitos das mudanças climáticas (BOLSON; HAONAT, 2016). Dessa forma, segundo Gleick e Iceland (2018), a segurança hídrica é alcançada somente quando, em termos territoriais, há a garantia de que uma quantidade adequada de água seja fornecida aos consumidores com a qualidade, volume e continuidade necessários para sustentar a vida. Todavia, em se tratando de circulação hídrica, os limites físicos da bacia hidrográfica não são os mesmos limites da cidade. A disponibilidade de água se realiza em um espaço muito mais amplo e complexo: compreende várias cidades, populações urbanas e situadas em área rurais, e se estende a outros seres vivos que também dependem de água para a sua sobrevivência.

Na definição de Borsato e Martoni (2004), bacias hidrográficas são áreas que possuem limites estabelecidos por divisores de água, os quais as separam de outras bacias e permitem a captação natural de água, proveniente de precipitações, nas superfícies inclinadas. Por meio de

uma rede de drenagem formada pela união dos cursos d'água, os fluxos convergem para a seção de exutório, ponto de mais baixa altimetria, de saída dos fluxos da chuva.

Diante da complexidade que esta temática apresenta, tem-se como hipótese formal nesse estudo verificar se os conceitos e aplicações sobre cidades inteligentes não poderiam ser úteis e adaptáveis no contexto de uma bacia hidrográfica para auxiliar na gestão de recursos hídricos.

Para responder e melhor compreender essa questão, o trabalho tem como objetivo estudar os conceitos e aplicações de cidades inteligentes para saber como eles podem subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos em bacias hidrográficas e, dessa forma, contribuir para a criação de aplicações úteis que, utilizadas nas bacias hidrográficas, contribuiriam para melhorar a gestão de recursos hídricos.

Cidades inteligentes: conceitos, tecnologias e aplicações

Durante a década de 1990, a discussão de especialistas envolvendo as novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e seu impacto nas áreas urbanas ocorria sob o conceito de "cidades digitais", termo do qual deriva o princípio conceitual que rege as cidades inteligentes.

Conforme citado por Lemos (2013, p. 46), “o objetivo era dotar esse espaço de uma infraestrutura digital eficiente como forma de estímulo a processos inovadores nas estruturas de governo, nas empresas e no comércio. A intenção era reaquecer o ambiente público, ampliar os laços comunitários e a participação política”. Com o acesso a equipamentos tecnológicos e redes digitais amplamente democratizadas, a inclusão social seria atingida. Já em relação à esfera política, diversas ferramentas e softwares seriam um maior atrativo, uma vez que esses mecanismos visam garantir maior transparência, descentralizando, assim, o poder, e distribuindo-o aos cidadãos, continua o autor (LEMOS, 2013). Já a infraestrutura tecnológica inteligente, sendo uma das bases e fundamentos para projetos de uma cidade inteligente, é nada menos que disseminar pelo ambiente urbano dispositivos eletrônicos para coleta, processamento e transmissão de dados (FARIAS *et al*, 2011).

Para Kon e Santana (2016), garantir a segurança e privacidade dos cidadãos e dos próprios sistemas da cidade, o gerenciamento e processamento de grandes massas de dados, oferecer escala adaptativa que acompanhe o crescimento populacional local, lidar com a grande variedade de dispositivos, como sensores e smartphones, e permitir que os diversos sistemas e

organizações trabalhem em conjunto na troca de informações, de forma interativa, eficaz e eficiente, são alguns dos maiores desafios.

Por meio de sensores integrados com sistemas de monitoramento em tempo real é possível que órgãos de governo e da administração pública interajam diretamente com a infraestrutura da cidade e com sua comunidade, monitorando o que acontece durante o dia a dia. As análises sobre a evolução da cidade, tendo como base a grande massa de dados diariamente coletados, examinados e disponibilizados pelos equipamentos, são fundamentais para a eliminação de possíveis ineficiências e a desigualdade existentes entre – e nos – espaços urbanos (CUNHA; BARACHO, 2019).

Giffinger *et al* (2007) classifica algumas dimensões que servem de ferramenta para a verificação do quão inteligente é uma cidade. A primeira dimensão é a Economia Inteligente que, por meio de análises pautadas na qualidade das empresas instaladas e o ambiente para o empreendedorismo, é capaz de avaliar o nível de preparação de uma cidade. A segunda dimensão é a População Inteligente em que, através da análise de fatores educacionais, renda, emprego, programas de educação científica e tecnológica, e projetos de inclusão digital, é mensurado o nível de desenvolvimento dos cidadãos. A terceira dimensão é a Governança Inteligente, com a qual se avalia a qualidade e transparência dos órgãos públicos, envolvendo a usabilidade de serviços públicos, sua transparência em relação aos dados, investimentos em tecnologia e a gestão transparente dos recursos. A quarta dimensão é a Mobilidade Inteligente que, diante dos meios dos diversos transportes possíveis, é capaz de aferir a facilidade de mobilidade no espaço da cidade. A quinta dimensão é o Meio Ambiente Inteligente que, ao analisar a poluição ambiental, quantidade de lixo reciclado e a eficiência no uso de recursos, é capaz de estimar a sustentabilidade da área. A sexta e última dimensão é a Vida Inteligente, que utiliza como parâmetro dados referentes à taxa de homicídios, quantidade de áreas verdes, segurança, cultura, entretenimento, entre outros, e assim obtém uma base para ponderar a qualidade de vida dos cidadãos.

Ao analisar os conceitos de cidades inteligentes aqui expostos, verifica-se que algumas TICs 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.

Internet of Things (IoT)

Em relação ao termo Internet das Coisas (IoT), é possível explorar os conceitos das palavras "Internet" e "Coisas". Com "Internet" obtém-se o protocolo de comunicação; já no sentido da palavra "Coisas", são apenas objetos não identificados com precisão. Com isso, semanticamente o termo completo representa uma infraestrutura global de dispositivos conectados, utilizando protocolos de comunicação (BASSI; HORN, 2008).

Para Carrion e Quaresma (2019, p. 53) “Internet das Coisas trata-se de um ecossistema que conecta objetos físicos, através de um endereço de IP (Internet Protocol, ou Protocolo de Internet) ou outra rede, para trocar, armazenar e coletar dados para consumidores e empresas através de uma aplicação de software”. Em virtude da possibilidade de conexão de praticamente todos os objetos de nosso cotidiano, a importância atual da IoT na sociedade fica, assim, muito mais aparente e relevante. Tendo uma vasta diversidade de dispositivos conectados, que pode abranger desde simples aparelhos domésticos até ferramentas industriais mais sofisticadas, a IoT pode permitir a comunicação entre pessoas e objetos, e entre os próprios objetos.

Exemplos de aplicação de IoT no contexto das cidades inteligentes podem ser o monitoramento do fluxo de veículos, a ocupação e reservas de espaços de estacionamento, a segurança e vigilância, bem como a avaliação e controle da qualidade do ar, alterações climáticas, entre diversos outros pontos impactantes na vida dos cidadãos (KRISHNAMACHARI *et al*, 2018). Logo, com a combinação de aspectos de tecnologias da computação, protocolos de comunicação da internet, redes de sensores sem fio, tecnologias de sensoriamento e comunicação, juntamente com dispositivos equipados com tecnologias avançadas, o IoT torna o ambiente cada vez mais integrado e inteligente (JOÃO; SOUZA; SERRALVO, 2020).

Big Data

Uma outra tecnologia que também é imprescindível em aplicações de cidades inteligentes é o Big Data. Ward e Barker (2013) descrevem que o termo Big Data está predominantemente associado a duas ideias: armazenamento de dados e análise de dados.

Gandomi e Haider (2015) apresentam três dimensões: o Volume, que representa os múltiplos terabytes e petabytes disponíveis atualmente; a Variedade, que trata da diversidade dos tipos de conjuntos de dados possíveis e sua heterogeneidade, podendo ser dados estruturados, que são tabulados e armazenados em bases de dados relacionais, os semiestruturados que, por sua vez, possuem capacidade de serem legíveis por máquinas, e, por fim, os não-estruturados, como textos, imagens e vídeos; e a Velocidade, que se refere à taxa de geração dos dados e seu tempo de análise.

Duas novas dimensões foram acrescentadas: a Veracidade, que está relacionada à confiabilidade dos dados; e o Valor, que trata da necessidade de enriquecer os dados brutos e não processados, extraindo conhecimento de nível superior para uso em diferentes cenários (DEBATTISTA *et al.*, 2015).

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. Servindo como base de dados e análise de informações, aplicações de Big Data podem ser encontradas em vários setores, como na análise e gerenciamento de dados de consumo de energia, gerando dados para o setor da saúde, fornecendo dados relacionados ao tráfego de veículos ao departamento de transporte, entre outras aplicações (COUTINHO, 2019).

Computação em Nuvem

Com a necessidade de construir infraestruturas de TIC complexas, as quais envolvem operações de instalação, configuração e atualização de software por meio do usuário, consolida-se como solução tecnológica a computação em nuvem (SOUSA; MOREIRA; MACHADO, 2009). Taurion (2009) afirma que computação em nuvem é uma expressão que descreve um ambiente de computação com base em uma rede de servidores, tanto virtuais quanto físicos.

A computação em nuvem seria, assim, um novo modelo de computação, que é capaz de fornecer liberdade no acesso de serviços e aplicações, independentemente da localidade em que o usuário se situa, da sua plataforma de acesso, de onde e em quais servidores os dados e as informações estão ou serão armazenados. Assim, todas as aplicações, dados e informações são

reunidos em data centers que, por meio da internet, são compartilhadas em formato de serviços (PEDROSA; NOGUEIRA, 2011).

Uma aplicação que mostra o funcionamento da computação em nuvem na prática é a plataforma criada na Itália para melhorar a experiência do turista. Com base na lista de pontos de interesse que cada turista monta, o aplicativo é capaz de retornar a melhor sequência de visita dos pontos turísticos, maximizando, assim, a quantidade de lugares visitados durante o tempo de viagem. Além disso, é possível visualizar os horários de funcionamento e o tamanho das filas em cada estabelecimento (KON; SANTANA, 2017).

Inteligência Artificial

A inteligência artificial (IA) é um campo de estudo que se dedica a automatizar e sistematizar tarefas intelectuais, de modo que suas aplicações passam a ter forte potencial nas mais diversas esferas das atividades humanas (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Ao longo do tempo, os muitos estudos realizados sobre o assunto resultaram em quatro linhas de pensamento para elaboração do conceito de IA. A primeira linha está relacionada a sistemas que pensam como humanos; a segunda diz respeito a sistemas que atuam como humanos; a terceira a sistemas que pensam racionalmente; e a quarta linha reforça a pesquisa sobre sistemas que atuam racionalmente (GOMES, 2010). Na primeira e terceira linhas argumenta-se sobre o processo de pensamento e raciocínio; já na segunda e quarta, o foco é o comportamento. Complementarmente, enquanto a avaliação do sucesso com base na semelhança ao desempenho humano é examinada nas duas primeiras linhas, a medição do sucesso em relação à inteligência e racionalidade são medidas pelas duas últimas linhas de pensamento (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Ao introduzir a IA, Kaufman (2019), partindo da junção de definições já fundamentadas em estudos de Davi Geiger e John McCarthy, a avalia positivamente, ao afirmar que a inteligência artificial é a ciência e a engenharia da criação de máquinas que possuam funções exercidas pelo cérebro dos humanos.

Para melhor visualização do funcionamento de IA nas cidades, a proposta da aplicação e-Noé é um outro exemplo. Trata-se de uma solução para monitoramento de rios e córregos urbanos usando uma rede de sensores sem fio. Com a IA é possível que previsões de enchentes sejam feitas, uma vez que diversos sensores submersos são instalados em pontos estratégicos

ao longo dos rios propensos a alagamentos, com o objetivo de monitorar o leito do rio e registrar qualquer alteração no nível da água. No setor de transporte, a IA consegue ser utilizada para calcular o tempo de conclusão da rota de transportes públicos, levando em consideração a velocidade média do veículo, congestionamentos, dia da semana e até mesmo informações climáticas. De forma geral, a IA pode ser utilizada de diversas formas e para uma infinidade de escopos (CRUZ; BARCELLOS; BERNARDINI, 2020).

Dentre os diversos conceitos de cidades inteligentes aqui expostos, é possível destacar a semelhança em seus fundamentos, objetivos e embasamentos que, trabalhando em conjunto, visam realizar aplicações a partir da utilização de TIC, como as descritas anteriormente, consolidando ideias e práticas sustentáveis, à medida que auxiliam na preservação do ambiente, da efetividade econômica, e oferecendo melhores serviços a seus cidadãos.

A seguir são apresentadas, na Tabela 1, algumas aplicações de cidades inteligentes, as quais sugere-se, a partir da literatura consultada, podem ser utilizadas no contexto das bacias hidrográficas e na gestão dos recursos hídricos.

Tabela 1 - Aplicações de cidades inteligentes.

NOME DA APLICAÇÃO	DESCRIÇÃO	CITAÇÃO
Serviços Inteligentes para a coleta de lixo.	Implementação de uma rede de sensores que emite notificações quando as lixeiras urbanas atingem sua capacidade máxima (Barcelona - Espanha).	KON; SANTANA (2016)
Incentivo do uso de formas sustentáveis de transporte.	Instalação de pontos de recarga elétrica de carros pela cidade e projeto de bicicletas compartilhadas (Barcelona - Espanha).	KON; SANTANA (2016)
Centro de Operações do Rio de Janeiro (COR)	Órgãos e agências que monitoram, 24 horas por dia, o cotidiano da cidade do Rio de Janeiro, no Brasil. O objetivo é gerenciar e ter controle de possíveis crises que possam afetar os cidadãos e empresas, destacando os deslizamentos de terra, as condições de tráfego, condições do mar, entre outros, que podem impactar a população que vive na cidade. O sistema possui captação de imagens através de mais de 500 câmeras instaladas e dados recebidos por sensores que também são estrategicamente instalados ao redor da cidade. Estes dados são completamente integrados para	WEISS; BERNARDES; CONSONI (2013)



NOME DA APLICAÇÃO	DESCRIÇÃO	CITAÇÃO
	visualização, monitoramento e análise em uma sala de controle, permitindo, assim, que tomadas de decisão e solução dos problemas sejam realizadas em tempo real.	
Centro Integrado de Comando (CEIC)	Câmeras interconectadas de alta capacidade na cidade de Porto Alegre, Brasil, com sensores de movimento por infravermelho, sensores de deslocamento e recursos de ampliação de imagens que auxiliam no monitoramento de praças, vias, prédios e monumentos públicos. O centro de comando possui monitoramento georreferenciado que acompanha a posição e os deslocamentos das viaturas e sensores pluviométricos para nivelamento de rios.	WEISS; BERNARDES; CONSONI (2013)
Sistema de controle de trânsito adaptativo em tempo real	Laços indutivos instalados nas vias públicas da cidade de Porto Alegre, Brasil, que captam o fluxo de veículos, alternando o estado dos semáforos de forma automática, com o objetivo de reduzir a taxa de emissão de gases e acelerar o tempo de circulação dos veículos.	WEISS; BERNARDES; CONSONI (2013)
Monitoramento de ônibus inteligentes	Dispositivos GPS instalados nos ônibus da cidade do Recife, Brasil, são fonte de dados reais, em que o monitoramento é realizado sobre a velocidade média de cada ônibus. A aplicação retorna para o usuário o posicionamento de cada ônibus no mapa e, com o cálculo de velocidade média, um alerta é disparado sobre as condições de trânsito sempre que uma baixa velocidade é detectada.	BORJA; GAMA (2014)
National Education Network (NEdNet)	Sistema integrado que inclui serviços de informação sobre educação (SIA), infraestrutura de rede e serviços de aprendizagem na Tailândia, auxiliando, assim, o raciocínio de quem possui maior conhecimento e leciona, apoia a aprendizagem autodirigida e personalizada com base no estudante o apoio à decisão.	AL NUAIMI, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2015)

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, <i>et al.</i> (2015)
Melhora na experiência do turista	Plataforma que consiste em aprimorar a experiência do turista, maximizando a quantidade de lugares visitados durante o tempo de viagem.	KON; SANTANA (2017)
e-Noé	Aplicação capaz de prever possíveis enchentes com a utilização de IA. Composta por uma malha de sensores sem fio submersos em diversos locais de rios propensos a enchentes, essa rede monitora o leito do rio para registrar e identificar alterações no nível da água.	CRUZ; BARCELLOS; BERNARDINI (2020)

Fonte: Elaboração própria (2023).

Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos

Estudos sobre bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos têm se avolumado em anos recentes. Essa evolução decorre da grande importância que tais temas adquiriram em razão dos efeitos da mudança climática e de uma provável escassez de água, que afetaria a segurança hídrica. Com isso, fica evidente a necessidade de gestores e pesquisadores alcançarem o domínio do conhecimento sobre o comportamento das bacias hidrográficas e suas subdivisões (TEODORO *et al.*, 2007).

A bacia hidrográfica é, conforme Tucci (2001), a delimitação territorial ou região em que ocorre a coleta natural da água proveniente da precipitação, direcionando o fluxo para um único ponto de saída. É formada por um conjunto de superfícies vertentes, ou seja, superfícies as quais possuem certo nível de inclinação que possibilitam o escoamento de água; e de uma rede de escoamento composta por cursos d'água que se unem até formar um único canal em seu exutório. Porto e Porto (2008) observam que as bacias hidrográficas são entes sistêmicos, uma vez que nelas são realizados processos de entrada de água, como a chuva, e processo de saída da água pelo exutório, formando, assim, bacias e sub-bacias interconectadas. É dentro do

território de uma bacia hidrográfica que as atividades humanas são realizadas e que, em vista disso, faz-se necessária a gestão adequada dos recursos hídricos nela contidos.

Para que toda a água esteja disponível, de modo a atender a demanda por volumes na qualidade requisitada, alguns desafios precisam ser superados. Atualmente, o uso descontrolado da água em alguns setores prejudica fortemente a segurança hídrica de outros consumidores ou de determinadas regiões. Tundisi (2003) lembra que tão somente 2,5% da água existente no planeta é doce e, mais grave ainda, apenas 0,5% das águas são disponíveis para consumo e fornecimento para necessidades humanas. Além da porcentagem assustadoramente baixa de água disponível, a grande desigualdade na distribuição de água ao redor do mundo aumenta a tensão e preocupação para que a gestão hídrica seja adequada, rígida e eficaz em todos os lugares.

O grande benefício que um bom processo de gestão de recursos hídricos pode trazer é, portanto, ter dados e informações sobre como está a disponibilidade de água na bacia hidrográfica e que riscos ou ameaças podem afetar a segurança hídrica. O que pode ser obtido por meio das TIC.

O conceito de segurança hídrica aparece na literatura somente a partir da década de 1990. Contudo, o assunto tornou-se pauta nacional quase duas décadas depois, por conta da forte crise hídrica que assolou as principais regiões do estado de São Paulo (MELO; JOHNSSON, 2018).

No Brasil, especificamente, foi institucionalizado na Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que criou a política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1977). Na conhecida "Lei das Águas", quatro tópicos foram levantados. São eles: (BRASIL, 1997):

- i. Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- ii. Utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- iii. Prevenir e defender contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- iv. Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Isto posto, o sentido da existência de uma gestão hídrica hábil, diligente e eficaz fica

mais compreensível e claro. Para tanto, utilizar TIC e propor aplicações que podem melhorar a gestão dos recursos hídricos no espaço territorial das bacias hidrográficas, de modo a fornecer melhores serviços para a população que nele sobrevive e desenvolve suas atividades produtivas é fundamental.

Assim, da mesma forma que existe o conceito de Cidades Inteligentes, utilizar o conceito de Bacias Hidrográficas Inteligentes não é uma questão de mera vontade, mas de necessidade.

Metodologia

O estudo em que se baseou o presente artigo enquadra-se como sendo uma pesquisa de caráter exploratório, pois o “[...] tema escolhido é pouco explorado [...]” (GIL, 2008, p.43). Segundo Silveira e Córdova (2009), essa modalidade de pesquisa também promove maior familiarização com o assunto, contribuindo para sua divulgação e reconhecimento. Ela também é adequada para estudos nos quais se almeja “(...) 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 em pesquisa documental e bibliográfica, descrevendo e analisando os conceitos e aplicações de cidades inteligentes, bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos. Esse tipo de abordagem possui, ainda, uma natureza prescritiva, pois tem como objetivo explorar diferentes formas de avaliar a integração e complementaridade dos conceitos envolvidos.

Com o desenvolvimento da pesquisa, conforme a abordagem metodológica aqui descrita, buscou-se definir e caracterizar conceitualmente o termo cidades inteligentes, as principais Tecnologias da Informação e Comunicação e suas aplicações; e o conceito de bacias hidrográficas e de gestão dos recursos hídricos. O exercício analítico consistiu em apresentar a relação dos conceitos e aplicações de cidades inteligentes, que podem ser úteis para auxiliar na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, caracterizando-as como bacias hidrográficas inteligentes.

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. Dado que a água é necessária e insubstituível, a gestão e a segurança hídrica acabam sendo tópicos fundamentais em uma sociedade e, quando bem executados na prática diária, impactam positivamente e diretamente na vida dos cidadãos.

Assim como as TIC podem contribuir com as pessoas que residem em uma cidade inteligente, aplicações já existentes e possíveis adaptações podem ser de grande utilidade na obtenção e análise de dados das bacias hidrográficas. Seguindo esta linha de raciocínio, vários aspectos dentro da gestão, planejamento e destinação dos recursos hídricos podem ser alcançados por meio de TICs e, com isso, assegurar formas mais eficazes e efetivas de se garantir a segurança hídrica em determinada região.

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 serão apresentadas algumas sugestões destas aplicações.

O Serviço Inteligente para a coleta de Lixo implementado em Barcelona, na Espanha, consiste em uma rede de sensores instalados em lixeiras que são capazes de notificar quando as lixeiras já estão cheias (KON; SANTANA, 2016). Esses sensores, que são aplicações de IoT, podem enviar informações para um centro de controle, avisando quando é necessário fazer a coleta, de modo a impedir que o lixo seja arrastado pelas chuvas, tanto para mananciais quanto para o esgoto, evitando, assim, a poluição dos rios e seus afluentes.

O Centro Integrado de Comando (CEIC), situado na cidade de Porto Alegre, no Brasil, consiste em um centro de monitoramento georreferenciado, que possui controle de dezenas de câmeras de alta capacidade interconectadas, equipadas com sensores de movimento por infravermelho, sensores de deslocamento e recursos de ampliação de imagens que auxiliam no monitoramento de praças, vias, prédios e monumentos públicos (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2013). Apesar de abranger diversas tecnologias que em sua maioria são fortes componentes de uma cidade inteligente, uma de suas funções teria forte importância e potencial na contribuição da gestão dos recursos hídricos, que diz respeito ao quesito da captação e formação da base de dados relacionadas aos nivelamentos pluviométricos da água das chuvas.

De forma direta, o CEIC corrobora o conceito de bacias hidrográficas inteligentes, em

razão da capacidade de coletar e receber os dados dos sensores pluviométricos, que são também aplicações IoT. 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 para a gestão dos recursos hídricos (aplicações de Big Data e Inteligência Artificial).

O Horizon Scanning Centre (HSC) é um projeto aplicado no Reino Unido. Consiste em análises aprofundadas sobre múltiplos canais de dados (Big Data) relacionados às alterações climáticas e seus efeitos na disponibilidade de alimentos e água, tensões regionais, e estabilidade e segurança nacional (AL NUAIMI *et al*, 2015). O HSC pode, assim, auxiliar de forma direta na configuração do conceito de bacia hidrográfica inteligente, realizando a análise, monitoramento e vindo a ser fonte das massas de dados relacionadas às alterações e intercorrências climáticas, e de demandas que afetam a região de uma bacia hidrográfica. Uma vez que estas alterações estão fortemente conectadas ao comportamento do ciclo hidrológico visto em determinada região, toda informação, detalhamento e possíveis efeitos sobre o clima permitem que um melhor planejamento hídrico seja realizado. Essa é mais uma aplicação que pode ser incorporada ao Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC).

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, oferecida 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 National Education Network (NEdNet) é um sistema integrado da Tailândia, que inclui serviços de informação relacionados à educação, infraestrutura de rede e serviços de aprendizagem. O sistema permite melhor entendimento e visualização geral para os que lecionam conteúdos didáticos, apoia fortemente a aprendizagem autodirigida e personalizada com base no estudante, e auxilia nas tomadas de decisões gerenciais (AL NUAIMI *et al*, 2015).

Este sistema, de forma direta, é capaz, segundo os autores, de influenciar tanto a dinâmica de aprendizagem, quanto a própria capacidade de aprender dos indivíduos.

Diante da grande capacidade de transmissão de informações e de atuar como ferramenta para a geração de conhecimento, o NEdNet, quando direcionado a questões ambientais, pode ser um eficiente recurso para a educação ambiental, principalmente em questões hídricas. Com o NEdNet, o sistema educacional poderia ter aulas, conteúdos, atividades, eventos e palestras que criam visibilidade do assunto para a população e, sobretudo, para os estudantes, abordando temas tais como o desperdício de água, hábitos que impactam positivamente no meio ambiente, funcionamento do ciclo hidrológico, poluição hídrica, entre diversos outros tópicos também importantes. Esse ambiente de educação ambiental poderia estar integrado ao CIMRC, fornecendo informações e orientando sobre a segurança hídrica em tempo real.

O e-Noé é uma solução composta por uma rede de sensores sem fio que é capaz de monitorar rios e córregos urbanos (CRUZ, BARCELLOS e BERNARDINI, 2020). A partir dos dados capturados pelos sensores instalados submersos nas águas é possível que o registro das alterações no nível das águas seja feito. Utilizando-se destes dados, as aplicações de Inteligência Artificial seriam apropriadas para a realização de previsões sobre prováveis enchentes no local. De modo geral, é plausível visualizar, nesta aplicação, alguns aspectos que se relacionam com a gestão hídrica e bacias hidrográficas inteligentes. Estes sensores poderiam estar dispostos nos vários rios e cursos de água que compõem a bacia hidrográfica, coletando informações sobre o nivelamento e, a partir de aplicações de IA e Big Data, seria oportuno fornecer subsídios para auxiliar com o processo decisório em momento de cheia ou de escassez hídrica. Essa é mais uma aplicação que poderia fazer parte do CIMRC.

Diante do volume de dados que o CIMRC pode receber e processar, o conceito de computação em nuvem pode ser aqui trazido, uma vez que todas as aplicações, dados e informações ficariam reunidos em data centers e seriam acessados por meio da internet. Cada uma das aplicações e sistemas citados neste estudo possuem, obviamente, funções e aplicabilidades distintas; 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.

Conclusões

A proposta deste estudo foi, particularmente, explorar o uso de TICs para a formação e teorização do conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis. Tendo como base e ponto de referência o estudo de conceitos e aplicações sobre cidades inteligentes, defendeu-se a grande importância das TICs para o avanço e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

A partir das aplicações das TICs sugeridas e aqui apresentadas, bem como de outras que possam vir a ser incorporadas, a criação de um Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC) teria por principal finalidade centralizar todas as informações relacionadas à segurança hídrica da região em que a bacia hidrográfica se estende. Esta base automatizada exerceria funções focadas na gestão dos recursos hídricos, objetivando melhorar o aproveitamento e controle do fluxo da água, a partir da coleta, recebimento e análise das informações disponíveis no espaço territorial.

Centralizando o controle da gestão sobre as aplicações, o CIMRC receberia informações por meio de sensores dos mais diversos tipos (pluviométricos, níveis de água e vazão dos rios, entre outros), além de dados relacionados aos efeitos das alterações climáticas. Com a base de dados captada e armazenada, várias análises poderiam ser feitas, gerando informações e subsídios para auxiliar o processo de tomada de decisões.

Todas as etapas poderiam ser realizadas com base no monitoramento em tempo real, utilizando recursos tecnológicos, tais como IoT, Computação em Nuvem, Big Data e Inteligência Artificial presentes em cada uma das aplicações, para que, assim, seja possível alcançar uma melhor eficiência nas respostas relacionadas à gestão hídrica.

Em suma, para os autores não há dúvidas de que as Tecnologias de Informação e Comunicação e suas aplicações presentes em cidades inteligentes possam, também, ser utilizadas para a construção de soluções tecnológicas baseadas no conceito de bacias hidrográficas inteligentes. Nesse sentido, como há dependência de água para a sobrevivência dos seres vivos e para a realização das atividades produtivas, postula-se a necessidade de toda essa estrutura de informações que a tecnologia pode entregar. Dessa forma, esta seria uma ferramenta fundamental para que os gestores de recursos hídricos possam enfrentar as adversidades hídricas e as consequências advindas das alterações climáticas, uma vez que poderão ter informações em tempo real para auxiliar na tomada de decisão.

Finalmente, os autores advertem que os resultados, teorizações e propostas aqui

delineadas são de caráter exploratório e fundamentadas no referencial bibliográfico e documental utilizado. Sugere-se, portanto, a continuidade dos estudos e a verificação em situações reais das soluções tecnológicas, visando o aprofundamento do conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis.

Agradecimentos

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

Referências

ABDALA, Lucas Novelino *et al.* Como as cidades inteligentes contribuem para o desenvolvimento de cidades sustentáveis?: Uma revisão sistemática de literatura. **International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM)**, v. 3, n. 5, p. 98-120, 2014. Disponível em: https://via.ufsc.br/wp-content/uploads/2016/06/Cidades-Inteligentes_Lucas.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.

AL NUAIMI, Eiman *et al.* Applications of big data to smart cities. **Journal of Internet Services and Applications**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2015. Disponível em: <https://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13174-015-0041-5>. Acesso em: 07 jan. 2023.

BASSI, Alessandro; HORN, Geir. Internet of Things in 2020: A Roadmap for the Future. **European Commission: Information Society and Media**, v. 22, p. 97-114, 2008.

BOLSON, Simone Hegele; HAONAT, Ângela Issa. A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito**, v. 13, n. 25, p. 223-248, 2016.

BORJA, Rafael; GAMA, Kiev. Middleware para cidades inteligentes baseado em um barramento de serviços. *In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*. SBC, 2014. p. 584-590. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/6147>. Acesso em: 10 fev. 2023

BORSATO, F.; MARTONI, A. M., Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Science**, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2008. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciHumanSocSci/article/view/1391/907>. Acesso em: 05 set. 2023.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**, 1997. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 05 set. 2023.

- CARRION, Patrícia; QUARESMA, Manuela. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/hfd/article/view/2316796308152019049>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- CARVALHO, Sônia Marise Salles *et al.* Smart Cities: avaliação das características dos ecossistemas de inovação de duas cidades inteligentes brasileiras. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 3, p. 693-693, 2020.
- CONTI, Diego de Melo *et al.* Innovation and sustainable development of smart cities. **RISUS. Journal on Innovation and Sustainability**, v. 13, p. 32-44, 2022. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/risus/article/view/60348>. Acesso em: 29 set. 2023.
- COUTINHO, Pedro Caldas. **Big Data em cidades inteligentes: um mapeamento sistemático**. 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/6440>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- CRUZ, Matheus; BARCELLOS, Raissa; BERNARDINI, Flavia. Inteligência Artificial no Governo Eletrônico em Cidades Inteligentes: Possibilidades e Desafios. **Computação Brasil**, n. 43, p. 27-30, 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/comp-br/article/view/1793>. Acesso em: 07 mar. 2023.
- CUNHA, Izabella Bauer de Assis; BARACHO, Renata Maria Abrantes. Dados Abertos e suas aplicações em Cidades Inteligentes. **Liinc em Revista**, v. 15, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18617/liinc.v15i2.4767>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- DEBATTISTA, Jeremy *et al.* Linked'Big'Data: towards a manifold increase in big data value and veracity. **In: 2015 IEEE/ACM 2nd International Symposium on Big Data Computing (BDC)**. IEEE, 2015. p. 92-98. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/BDC.2015.34>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- FARIAS, José Ewerton P. de *et al.* Cidades Inteligentes e Comunicações. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, n.1, 2011.
- GANDOMI, Amir; HAIDER, Murtaza. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International journal of information management**, v. 35, n. 2, p. 137-144, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>. Acesso em: 02 abr. 2023.
- GIFFINGER, Rudolf *et al.* **Smart cities-ranking of european medium-sized cities. Final report**, Vienna University of Technology, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.34726/3565>. Acesso em: 02 nov. 2022.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

GLEICK, Peter.; ICELAND, Charles. Water, Security, and Conflict. Issue Brief. **World Resource Institute and Pacific Institute**, p. 1–16, ago. 2018. Disponível em: <https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/watersecurityconflict.pdf>. Acesso em: 05 set. 2023.

GOMES, Dennis dos Santos. Inteligência Artificial: conceitos e aplicações. **Olhar Científico**, v. 1, n. 2, p. 234-246, 2010.

JOÃO, Belmiro do Nascimento; SOUZA, Crisomar Lobo de; SERRALVO, Francisco Antonio. Revisão sistemática de cidades inteligentes e internet das coisas como tópico de pesquisa. **Cadernos Ebape. br**, v. 17, p. 1115-1130, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1679-395174442>. Acesso em: 13 mai. 2023.

KAUFMAN, Dora. **A inteligência artificial irá suplantar a inteligência humana?** Estação das Letras e Cores, 2019.

KON, Fabio; SANTANA, Eduardo Felipe Zambom. Cidades Inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios. **Jornadas de atualização em informática**, v. 17, 2016.

KON, Fabio; SANTANA, Eduardo Felipe Zambom. Computação aplicada a Cidades Inteligentes: Como dados, serviços e aplicações podem melhorar a qualidade de vida nas cidades. **CSBC 2017. JAI 4**. São Paulo, SP, p. 2536, 2017.

KRISHNAMACHARI, Bhaskar *et al.* I3: An IoT marketplace for smart communities. In: **Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services**. 2018. p. 498-499. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3210240.3223573>. Acesso em: 01 mar. 2023.

LAZZARETTI, Kellen *et al.* Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras, **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20190118>. Acesso em: 21 set. 2022.

LEMOS, André. De que forma as novas tecnologias - como a computação em nuvem, o Big Data e a internet Das coisas - podem melhorar a condição de vida nos espaços urbanos? **Revista GV-EXECUTIVO - Fundação Getúlio Vargas**, v. 12, n. 2, 2013.

MELO, Marília Carvalho de; JOHNSSON, Rosa Maria Formiga. O conceito emergente de segurança hídrica. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5892/st.v1i1.4325>. Acesso em: 10 set. 2022.

PEDROSA, Paulo H. C.; NOGUEIRA, Tiago. **Computação em nuvem**. 2011. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2011/T2/Artigos/G04-095352-120531-t2.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-63, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Acesso em: 09 set. 2022.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

SAMPIERI, Roberto Hernandez; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, Pilar Baptista. **Metodología de la Investigación**. McGraw-Hill, México, 1991.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. In: **GERHARDDT, Tatiana Engel. e SILVEIRA, Denise Tolfo. (org.). Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora de UFRGS, p. 31-42, 2009.

SOUSA, Flávio R. C.; MOREIRA, Leonardo O.; MACHADO, Javam C. Computação em nuvem: Conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. **II Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI)**, p. 150-175, 2009.

TAURION, Cezar. **Cloud computing-computação em nuvem**. Brasport, 2009.

TEODORO, Valter Luiz Iost *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>. Acesso em: 12 jan. 2023.

TORRES, Rafael Prata *et al.* Challenges to sustainable urban planning policies in the city of são paulo - Brazil. In: III Sustentare e VI WIPIS, 2022. **Anais do Terceiro Sustentare e Sexto Wipis**, 2021. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/iii_sustentare_vi_wipis/440571/. Acesso em: 30 set. 2023.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. reimpr. **Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH**, 2001.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2003. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-383410>. Acesso em: 06 out. 2022.

WARD, Jonathan Stuart; BARKER, Adam. **Undefined by data: a survey of big data definitions**. UK: University of St. Andrews, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1309.5821>. Acesso em: 29 abr. 2023.

WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. Cidades inteligentes: a aplicação das tecnologias de informação e comunicação para a gestão de centros urbanos. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 9, n. 18, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3895/rts.v9n18.2634>. Acesso em: 29 abr. 2023.

YIGITCANLAR, Tan *et al.* Understanding ‘smart cities’: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. **Cities**, v. 81, p. 145-160, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>. Acesso em: 15 mar. 2023.