

**Resiliência Hídrica Urbana: Estratégias e Adaptação às Mudanças  
Climáticas**

**Thais Helena Prado Corrêa**

Doutora, UFSCar, Brasil  
thaisthp@gmail.com

**Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira**

Professor, Doutor, UFSCar, Brasil  
bernardo@ufscar.br

## RESUMO

O termo Resiliência está presente tanto no meio acadêmico quanto na gestão, todavia, a Resiliência Hídrica Urbana (RHU) ainda é um termo pouco estudado, abordado, sistematizado e aplicado nas pesquisas relacionadas à gestão dos recursos hídricos. O trabalho foi motivado pela necessidade de obter dados interpretativos para a RHU, considerando seu potencial e importância referente à construção da Resiliência frente às mudanças climáticas. O objetivo é propor diretrizes e estratégias para incorporar RHU em municípios com base no uso de indicadores. Para tanto, buscou-se inicialmente pela presença direta ou indireta da RHU em Planos Municipais de cidades brasileiras. Na etapa seguinte, os Sistemas Hídricos Urbanos foram analisados a partir das Componentes e Variáveis relacionadas à RHU e sugeriu-se Indicadores associados às Variáveis sistematizadas, que foram utilizados no método proposto para a incorporação da RHU. A sistematização feita resultou em quinze Componentes e trinta e nove Variáveis para as quais foram propostos cinquenta e três Indicadores que permitem o monitoramento da RHU. A metodologia proposta possibilitará às cidades avaliarem o presente e construir o futuro, tornando-se cidades hidricamente seguras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resiliência Hídrica Urbana. Gestão das Águas Urbanas. Indicadores.

## 1 INTRODUÇÃO

A expectativa sobre o aprofundamento da crise de acesso à água, especialmente em decorrência das mudanças climáticas em várias partes do mundo, vem estimulando não apenas disputas materiais, mas, sobretudo, lutas simbólicas em torno dos diagnósticos da crise e das possibilidades de sua mitigação (MARTINS, 2013). Portanto, aprofundar os estudos relacionados a essa temática pode auxiliar as cidades a permanecerem seguras hidricamente e trazer investimentos que poderão se transformar em oportunidades e soluções aos desafios iminentes (ONU, 2014a).

Trabalhos recentes avaliam a resiliência da infraestrutura em sistemas e ambientes urbanos construídos (ALLENBY e FINK, 2005) e investigam como as cidades se recuperam após desastres e eventos extremos, demonstrando assim que a resiliência é essencial para permitir tanto a adaptação e esforços de mitigação dos riscos e desastres como para desenvolver novas formas de governança urbana. Ao inserir a resiliência como parte do desenvolvimento local, as incertezas climáticas são tratadas não apenas como uma ameaça à cidade, mas também como uma oportunidade para desenvolver e comercializar uma economia baseada no conhecimento da tomada de decisões (LU e STEAD, 2013).

Desse modo, a Resiliência Hídrica Urbana (RHU) surge como a capacidade que uma cidade tem de resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se da exposição às ameaças, produzindo efeitos de maneira oportuna e eficiente, o que inclui a preservação e restauração de suas estruturas e funções básicas frente às mudanças climáticas, portanto, é uma ferramenta para pensarmos as novas configurações das cidades, permitindo que o meio urbano abranja todos os processos que sustentam os recursos naturais, sociais e financeiros.

A literatura é sobre como a resiliência é abrangente e prolífica em fornecer diferentes interpretações desta temática. À parte, a resiliência surgiu como uma perspectiva atrativa em relação às cidades, muitas vezes teorizadas como sistemas altamente adaptáveis e complexos (BATTY, 2008), visto que as emergências climáticas vêm transformando significativamente os sistemas urbanos.

A Resilience Alliance (2007) argumenta que os sistemas urbanos são compostos por quatro subsistemas: as redes de governança, a dinâmica socioeconômica, o fluxo metabólico (ou fluxo de material) e o ambiente construído (Figura 1).

Figura 1 – Inter-relação da resiliência urbana com os sistemas urbanos



Fonte: Adaptado de Resilience Alliance, 2007.

Apesar desta inter-relação do conceito com os sistemas urbanos, há poucas pesquisas relacionadas à gestão dos recursos hídricos para a segurança hídrica, isso pode se tornar uma ferramenta essencial para amparar estratégias políticas e assegurar a gestão adequada dos recursos hídricos e, conseqüentemente, mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Uma vez que a segurança hídrica permaneça em um processo de tomada de decisões cíclico e interativo, ele pode ser favorecido pela resiliência, oferecendo flexibilidade para permitir a aplicação do conceito de RHU em vários níveis de planejamento e adaptação aos contextos institucionais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resiliência Hídrica Urbana no contexto das Mudanças Climáticas

O conceito de resiliência pode motivar uma abordagem para planejar e projetar áreas urbanas para o futuro, mediante a incorporação da mudança climática e adaptação no âmbito do sistema de planejamento.

Um bom exemplo é a cidade de Roterdã, na Holanda, onde as questões das mudanças climáticas levantaram desafios para lidar com riscos de inundação (LU e STEAD, 2013). Alguns

trabalhos incluem esforços para: quantificar resiliência aos perigos (ROSE, 2007), avaliar a resiliência da infraestrutura em sistemas e ambientes urbanos construídos (ALLENBY e FINK, 2005) e investigar como as cidades se recuperam após desastres e eventos extremos (PAIS e ELLIOT, 2008).

Assim, desafiar os paradigmas existentes, pesquisar e promover alternativas mais resilientes para a gestão convencional das águas urbanas são estratégias para um desenvolvimento mais sustentável das áreas urbanas (INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES, 2011), de modo a promover a segurança hídrica local.

Walker e Salt (2012) afirmam que para avaliar a resiliência dos serviços de água urbana, é necessário definir seus limites de sistema e as perturbações que esse sistema está sendo exposto, porém, isso é um desafio, uma vez que o sistema de água urbano envolve múltiplas escalas, dependendo dos usuários, das instituições, das tecnologias e dos ecossistemas.

A promoção da RHU é essencial para permitir tanto a adaptação e esforços de mitigação dos riscos e desastres como uma série de questões inter-relacionadas com novas formas de governança urbana, para agregar a resiliência como parte do desenvolvimento local, demonstrando que as incertezas climáticas podem ser oportunidade para desenvolver novos mecanismos de adaptação.

## **2.2 Indicadores como Ferramentas de Auxílio na Construção da Resiliência Hídrica Urbana**

Os indicadores são ferramentas que permitem coletar dados necessários para análise de informações importantes, visando a mensurar o desenvolvimento urbano, podendo também ser considerados como uma ferramenta de gestão (MILMAN e SHORT, 2008).

Para que os indicadores sejam instrumentos de um processo de mudança, eles devem agrupar características que permitam: mensurar diferentes dimensões, de forma a abranger a complexidade dos fenômenos sociais; possibilitar a participação da sociedade no processo de definição do desenvolvimento; comunicar tendências, subsidiando o processo de tomada de decisões; e relacionar variáveis, já que a realidade não é linear nem unidimensional (SILVA, 2016).

Portanto, os indicadores são um meio de prover planos e políticas com informações para demonstrar seu desempenho ao longo do tempo e uma tentativa de realizar previsões, podendo ser utilizados para monitoramento de variações espaciais e temporais das ações (NAHAS *et al.*, 2006).

Assim, devido à crescente demanda por informações que demonstrem os problemas ambientais das áreas urbanas, pesquisadores, tomadores de decisão e governos podem utilizar os indicadores para dimensionar as questões ambientais e os danos correspondentes, o que é fundamental para planos de manejo sustentável em diferentes setores.

Em 2017, para estabelecer uma forma de medir a sustentabilidade das cidades brasileiras, a ABNT desenvolveu a norma ABNT NBR ISO 37120/2017, foi a primeira norma técnica brasileira para o Desenvolvimento Sustentável de Comunidades - Indicadores para Serviços Urbanos e qualidade de vida (ABNT, 2017).

Em 2021, a NBR ISO 37123/2021 surge como um norteador para que as cidades adquiram dados expressivos no gerenciamento de risco de desastres e ratifica acordos globais que apoiem a sustentabilidade e a resiliência. A norma determina e estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores de resiliência em cidades (ABNT, 2021) e está dividida em 24 seções temáticas, que trazem um total de 68 indicadores de resiliência para o monitoramento, podendo ser aplicado em qualquer cidade que se comprometa a medir o seu desempenho de maneira comparável e verificável, independentemente do tamanho ou da localização.

Tais indicadores podem ser utilizados para rastrear e monitorar o progresso em direção a uma cidade resiliente, por meio do desenvolvimento de uma estratégia de resiliência urbana ou ao aplicar um sistema de gerenciamento urbano (ABNT, 2021).

Assim, os indicadores podem ser utilizados como ferramenta para mensurar a resiliência, uma vez que tais indicadores medem a capacidade de um sistema de se adaptar à mudança e continuar a funcionar por um longo período (MILMAN e SHORT, 2008).

Por meio dos indicadores, é possível caracterizar as áreas de fragilidade nas quais ações adicionais possam ser tomadas para aumentar a resiliência do sistema hídrico urbano, levando em conta como o fornecimento de água, infraestrutura, prestação de serviços, finanças, qualidade da água e governança afetam a capacidade de manter um dado nível de acesso atual e futuro dos recursos hídricos.

### **3 OBJETIVOS**

A presente pesquisa tem por objetivo geral propor diretrizes e estratégias para a incorporação da RHU em municípios com o uso de indicadores. Para desenvolver o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i) realizar a revisão da literatura por meio de consulta e sistematização de periódicos, artigos científicos, teses, livros e legislação para desenvolver a base teórica do tema da pesquisa;
- ii) identificar e sistematizar os aspectos da RHU a partir do referencial teórico;
- iii) identificar cidades brasileiras de porte médio que aderiram ao programa Making Cities Resilient: My City is Getting Ready, elaborado pelo Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos e Desastres (UNISDR, 2016), analisando a presença da RHU em seus planos municipais (planos de Saneamento, Drenagem e Diretor);
- iv) identificar, propor e sistematizar um conjunto de indicadores que possam ser aplicados à RHU; e
- v) propor diretrizes e estratégias para incorporação da RHU pelos municípios.

A partir desta pesquisa é possível estabelecer princípios de planejamento integrado de infraestrutura hídrica urbana, encontrando as melhores soluções, permitindo às cidades identificar os riscos aos quais está sujeita, facilitando o planejamento antecipado da RHU, ressaltando a importância do uso da ferramenta desenvolvida para o diagnóstico, planejamento, monitoramento e controle do desenvolvimento da RHU para auxiliar os gestores na definição de prioridades e na tomada de decisão para o planejamento das cidades mais resilientes.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Sistematizações das Componentes e Variáveis de RHU**

A RHU foi avaliada com base na revisão da literatura, os aspectos da resiliência foram divididos em quatro Componentes que passaram a ser considerados para a avaliação da RHU. Os Componentes adotados integram a gestão da água urbana e fazem parte dos seguintes sistemas:

- i) Sistema de Abastecimento de Água (SAA);
- ii) Sistema de Esgotamento Sanitário (SES);
- iii) Sistema de Drenagem Urbana (SDU); e
- iv) Gestão e Participação (G&P).

Em seguida, apoiado em 15 Componentes, foram estabelecidas 39 variáveis, a fim de avaliar a RHU, sendo: 10 variáveis do SAA; 5 variáveis do SES; 10 variáveis do SDU e 14 variáveis do G&P. O número de variáveis para cada sistema se relaciona com aspectos específicos delas.

Para esta pesquisa as variáveis foram definidas partindo do pressuposto que elas possuem uma correlação com os temas eleitos para a construção da RHU, de maneira a contemplar todos os sistemas que envolvem os recursos hídricos urbanos de forma a configurar um instrumento de monitoramento que pode se adequar de acordo com os objetivos pretendidos em cada caso e se adaptar em diferentes aspectos.

De um modo geral, para todas as Componentes foram descritos grupos de variáveis com seus subgrupos, de forma a contemplar os aspectos quantitativos, qualitativos, de gestão e participação, levando em consideração as necessidades de caracterização de cada sistema.

Para cada um dos sistemas foram levados em conta aspectos externos (mudanças climáticas, falta ou excesso de chuvas, impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos, entre outros) e internos (colapsos, falhas, insuficiências, entre outros). O Quadro 1 apresenta a listagem com as Componentes e Variáveis adotadas para os Sistemas. Salienta-se que o Sistema Gestão e Participação não é mencionado neste Quadro, uma vez que ele abrange todos os três Sistemas, assim tal sistema se encontra em um Quadro separado.

Quadro 1 - Componentes e variáveis adotadas para SAA, SES e SDU

Sistemas	Componente	Variáveis
SAA	1. Redução da disponibilidade dos mananciais	1a. Escassez ou estresse hídrico (estiagem significativa)
		1b. Captação excessiva das águas superficiais
		1c. Capacidade de reservação insuficiente
		1d. Exploração excessiva dos aquíferos
	2. Deficiências ou insuficiência do SAA	2a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema
		2b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação e flexibilidade)
	3. Comprometimento da qualidade da água para abastecimento	3a. Comprometimento da qualidade da água em manancial superficial
		3b. Comprometimento da qualidade das águas subterrâneas (aquíferos)
		3c. Falhas ou deficiências no sistema de tratamento de água
		3d. Comprometimento da qualidade na reservação e na distribuic�o da �gua
SES	4. Deficiências ou insuficiência do SES	4a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema
		4b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação do sistema)
	5. Comprometimento das condições do corpo receptor	5a. Falhas nos sistemas de tratamento de esgoto
		5b. Perda da capacidade de diluic�o ou autodepuração dos corpos receptores
	6. Impactos das Ligações cruzadas sobre o SES	6a. Sobrecarga das �guas Pluviais no SES e SDU
	SDU	7. Agravamento dos efeitos de mudanç�as climáticas
7b. Aumento da frequência de precipitações intensas		
8. Ocupações de áreas riscos		8a. Ocupação de áreas de riscos de inundações e alagamentos
		8b. Ocupação de áreas de deslizamentos e escorregamentos
9. Deficiências ou insuficiência do SDU		9a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema
		9b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação do sistema)
		9c. Alteração das características urbanas que afeta as águas pluviais (�rea impermeável, remoção de vegetação etc.)
10. Comprometimento da qualidade das águas pluviais		10a. Comprometimento da qualidade dos lançamentos superficiais
		10b. Comprometimento da qualidade das águas infiltradas
11. Erosão e assoreamento		11a. Transporte de sedimento pelas águas pluviais

Fonte: Corr ea, 2021.

Os grupos de variáveis do SAA abordam questões relacionadas à redução da disponibilidade dos mananciais, deficiências ou insuficiência do SAA e comprometimento da qualidade da água para abastecimento.

Os grupos de variáveis do SES recomendam questões referentes à eficiência ou insuficiência do SES, às condições do corpo receptor e os impactos das ligações cruzadas sobre o SES. As variáveis relacionadas às perdas de capacidade de atendimento (saturação) para os três sistemas refletem-se na resiliência tanto pela possibilidade de interrupções dos serviç os como pelo agravamento dos efeitos de outros impactos sobre eles.

Os grupos relacionados ao SDU consideram aspectos de agravamento dos efeitos de mudanças climáticas, deficiências ou insuficiência do SDU, comprometimento da qualidade das águas pluviais, impactos das ligações cruzadas sobre o SDU e erosão e assoreamento. Nesse item são abordadas as questões pertinentes à vulnerabilidade relacionadas às precipitações, ocupações de áreas inapropriadas, bem como a fragilidade das estruturas de manejo de águas pluviais e o comprometimento dos corpos receptores. A seguir, o Quadro 2 demonstra as Componentes e Variáveis relacionadas a G&P e referem-se a temas de legislação, planejamento, envolvimento da sociedade e estrutura organizacional de gestão e participação.

Quadro 2 - Componentes e variáveis adotadas para Sistema G&P

Sistemas	Componente	Variáveis
G&P	12. Legislação	12a. Leis e normas que consideram a RHU
	13. Planejamento	13a. Planos específicos atualizados considerando a RHU
		13b. Capacidade de redundância dos sistemas hídricos urbanos (SAA, SES, SDU)
		13c. Adoção de planos de contingência
		13d. Provisão de recursos financeiros para emergências e recuperação
	14. Estrutura organizacional de gestão	14a. Coordenação eficaz entre os sistemas hídricos e com outros órgãos
		14b. Capacitação de pessoal para atuar em relação à RHU
		14c. Monitoramento dos sistemas hídricos
		14d. Disponibilização dos dados
		14e. Avaliação, previsão e prevenção de riscos (mapas de riscos, sistemas de alerta e Defesa Civil estruturada)
	15. Participação e envolvimento da sociedade	15a. Conscientização e preparação da comunidade em relação à RHU (Educação Ambiental, treinamento)
		15b. Instâncias de participação da sociedade (conselhos, comitês, grupos de trabalho)
		15c. Assistências para emergências a populações vulneráveis
		15d. Colaboração proativa entre órgãos governamentais e não governamentais (empresas, Universidades, ONGs)

Fonte: Corrêa, 2021.

O intuito deste grupo de variáveis é estimar como a gestão e a sociedade estão se preparando e contribuindo para a RHU. Nessa etapa, destacam-se subgrupos que demonstram a importância das leis como instrumento norteador para o poder público, como essa estrutura pode se adaptar frente às vulnerabilidades locais e a importância da participação de todos os atores sociais para que a cidade se torne mais resiliente.

#### 4.2 Seleção das Cidades estudadas e Avaliação de seus Planos Municipais

A partir do mapa global de Cidades Resilientes, disponível no site Global Water Partnership (GWP), foram selecionadas cidades brasileiras que fazem parte do referido programa e

que, ao mesmo tempo, possuem Plano Diretor Municipal (PDM), Plano Municipal de Saneamento (PMS) e Planos de Drenagem Urbanas (PMDU) disponíveis para consulta *on-line*.

Em seguida, foi elaborada a análise dos textos dos PDMs, PMSs, e PMDUs das cidades, tendo como referência as variáveis anteriormente propostas, de modo a se identificar a presença ou ausência dos aspectos de resiliência e de mudanças climáticas.

Essa análise considerou tanto uma abordagem direta (aspectos que foram explicitamente incluídos nos Planos, motivados pela busca de resiliência ou preocupação com as mudanças climáticas) quanto uma abordagem indireta (aspectos que, mesmo sem referência direta à resiliência ou às mudanças climáticas, atendem às variáveis associadas a elas).

#### 4.2.1 Critérios de Seleção das Cidades

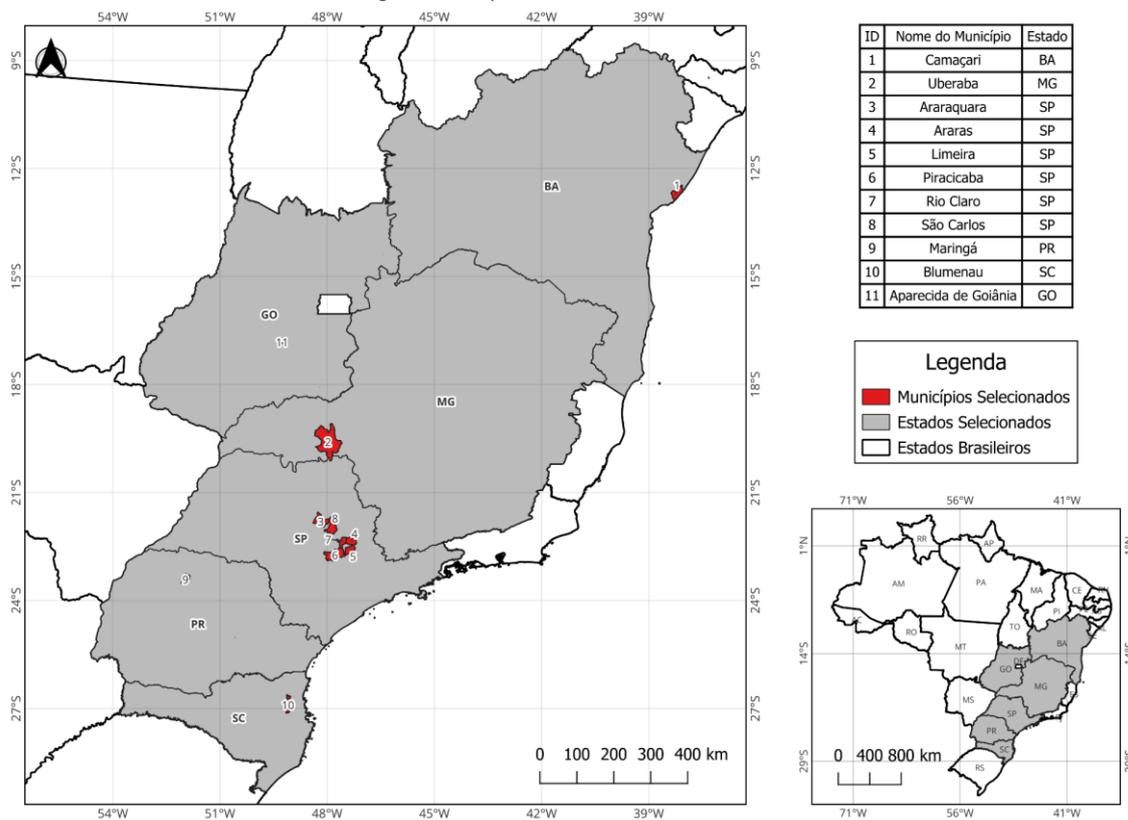
O mapa Global de cidades resilientes teve em 2020 mais de 4.360 cidades cadastradas em todo o mundo. Das cidades brasileiras participantes da campanha, as de médio porte, ou seja, entre 100 e 500 mil habitantes, totalizaram 159 municípios.

A opção pelas cidades média decorreu do fato de que, além de concentrarem uma parcela significativa da população, elas começam a apresentar problemas típicos de cidades grandes, sem ter, muitas vezes, as estruturas dessas últimas.

Após a análise inicial dos Planos mencionados, na qual o objetivo era verificar se os conceitos de Resiliência ou Mudanças Climáticas estavam presentes, constatou-se que não existiam muitas diferenças nos Planos com relação a esses aspectos. Desse modo, a análise acabou se limitando a 11 cidades (Figura 2).

Como não havia intenção de realizar uma análise estatística, o número final das cidades não foi fruto de uma seleção amostral. Vale destacar que a maioria das cidades selecionadas pertence ao estado de São Paulo, pois foi o estado que mais aderiu ao programa.

Figura 2 - Mapas das cidades selecionadas



Fonte: Elaborado pela autores, 2024.

#### 4.2.2 Considerações gerais a respeito dos Planos analisados

As análises realizadas nas 11 cidades mostraram que nenhum dos Planos Municipais menciona explicitamente o termo Resiliência. Em geral, a maioria das variáveis não foi abordada.

Alguns Planos foram elaborados antes do surgimento da Campanha da ONU e mesmo as cidades demonstrando interesse em se tornarem mais resilientes, os Planos que passaram por revisão não abordaram diretamente as questões relacionadas à Resiliência, à RHU e às Mudanças Climáticas.

Ainda que as cidades possuam um papel central para combater os riscos associados à RHU, fica evidente que houve certa limitação em incorporar tais conceitos nos Planos Municipais. Portanto, essa análise indica a necessidade de uma visão mais integrada e preditiva quanto à temática abordada, buscando-se articular todos os atores sociais no desenvolvimento de planos mais robustos e criando estruturas de gestão que incluam a RHU.

#### 4.3 Identificação, proposição e sistematização de indicadores de RHU

A partir das etapas anteriores, os indicadores foram agrupados e associados à Resiliência Hídrica Urbana e subdivididos em Sistemas, Componente, Variáveis e Indicadores.

As variáveis dos SAS, SES e SDU consideradas levam em conta a ocorrência de

eventos que podem afetar antes, durante ou depois a RHU. No caso G&P foram pensadas questões nas quais as variáveis demonstrem que a cidade possui mecanismos para aumentar a RHU nos SAS, SES e SDU.

Uma vez que a transformação de dados em informações relevantes para os gestores públicos e para sociedade é o principal papel dos indicadores, é preciso analisar os indicadores para que eles sejam compreendidos.

Para tanto, no presente trabalho foram adotados os critérios propostos por Miranda e Teixeira (2004), como:

- i) acessibilidade dos dados: facilidade ao acesso dos dados referentes ao indicador;
- ii) clareza na comunicação: rápida compreensão e aceitação pelos usuários;
- iii) relevância: refletir algo básico e fundamental para descrever o fenômeno monitorado;
- iv) amplitude geográfica: ser sensível à mudança no espaço;
- v) padronização: maior a possibilidade de comparar uma realidade com as demais;
- vi) preditividade: avisar antecipadamente os problemas antes que se tornem de difícil solução;
- vii) pró-atividade: mostrar o que vem dando certo, de forma a motivar;
- viii) sensibilidade temporal: mostrar as mudanças e tendências ao longo do tempo;
- ix) definição de metas: permitir estabelecimento de metas a serem alcançadas;
- x) confiabilidade da fonte: possuir uma ou mais fontes de dados de confiança; e
- xi) capacidade de síntese: transmitir rapidamente uma informação, permitindo acesso aos detalhes.

O primeiro passo, portanto, foi buscar na literatura possíveis indicadores que poderiam ser utilizados para a RHU, foram encontrados mais de 50 indicadores. A partir desse conjunto de indicadores foi realizada uma primeira avaliação, buscando associá-los às Componentes e Variáveis definidas anteriormente.

Alguns desses indicadores foram utilizados na sua forma original, enquanto outros sofreram adaptações para melhor refletir a RHU. Também em muitas situações, novos indicadores tiveram que ser propostos, nos casos em que não havia indicadores adequados entre aqueles identificados na literatura. Como resultado desse processo, apresentam-se os Quadros 3, 4, 5 e 6 contendo os indicadores selecionados.

Quadro 3 - Indicadores de Resiliência Hídrica Urbana associados ao SAA

Componente	Variáveis	Indicador
1.Redução da disponibilidade dos mananciais	1a. Escassez ou estresse hídrico (estiagem significativa)	1.Variação da Precipitação pluviométrica
	1b. Captação excessiva das águas superficiais	2.Retirada anual de água superficial como porcentagem do total de água disponível
	1c. Capacidade de reservação insuficiente	3.Variação no volume de reservação nos reservatórios de abastecimento
	1d. Exploração excessiva dos aquíferos	4.Rebaixamento do nível de água nos poços
2. Deficiências ou insuficiência do SAA	2a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema	5.Variação da frequência anual de eventos de interrupção do abastecimento por falhas
		6.Porcentagem da população que pode ser abastecida de água potável por fontes alternativas por curto período
3. Comprometimento da qualidade da água para abastecimento	2b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação e flexibilidade)	7.Indicador de Saturação do SAA
		8.Número de fontes diferentes de captação de água para o SAA
	3a. Comprometimento da qualidade da água em manancial superficial	9.Variação anual do IQA no manancial
	3b. Comprometimento da qualidade das águas subterrâneas (aquíferos)	10. Número de ocorrências afetando qualidade da água do manancial
3c. Falhas ou deficiências no sistema de tratamento de água	3d. Comprometimento da qualidade na reservação e na distribuição da água	11.Variação da qualidade da água extraída do aquífero
		12.Número de vezes por ano em que a água tratada ultrapassa os limites do padrão de potabilidade
		13.Número de vezes por ano em que a água distribuída ultrapassa os limites do padrão de potabilidade

Fonte: Corrêa, 2021.

Quadro 4 - Indicadores de Resiliência Hídrica Urbana associados ao SES

Componente	Variáveis	Indicador
4. Deficiências ou insuficiência do SES	4a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema	14. Variação da frequência anual de eventos de interrupção da coleta por falhas
	4b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação do sistema)	15. Indicador de Saturação do SES
5. Comprometimento das condições do corpo receptor	5a. Falhas nos sistemas de tratamento de esgoto	16. Proporção de esgoto que é encaminhado para ETE
	5b Perda da capacidade de diluição ou autodepuração dos corpos receptores	17. Ocorrência anual de vazões inferiores à vazão mínima que proporciona a autodepuração
6. Impactos das Ligações cruzadas sobre o SES	6a. Sobrecarga das águas Pluviais no SES e SDU	18. Sobrecarga devida às vazões de águas pluviais no SES

Fonte: Corrêa, 2021.

Quadro 5 – Indicadores de Resiliência Hídrica Urbana associados ao SDU

Componente	Variáveis	Indicador
7. Agravamento dos efeitos de mudanças climáticas	7a. Aumento da intensidade das precipitações	19. Variação anual da intensidade das precipitações
	7b. Aumento da frequência de precipitações intensas	20. Frequência anual dos eventos de tempestades extremas
8. Ocupações de risco	8a. Ocupação de áreas de riscos de inundações e alagamentos	21. Percentual de área com ocupação humana sujeita a inundações e alagamentos
	8b. Ocupação de áreas de deslizamentos e escorregamentos	22. Percentual de área com ocupação humana sujeita a deslizamentos e escorregamentos
9. Deficiências ou insuficiência do SDU	9a. Falhas (danos, colapso, rupturas) no sistema	23. Variação da frequência anual de eventos de interrupção de drenagem por falhas
	9b. Perda da capacidade de atendimento da demanda (saturação do sistema)	24. Indicador de Saturação do SDU
	9c. Alteração das características urbanas que afetam as águas pluviais	25. Variação da cobertura vegetal 26. Variação da cobertura e impermeabilização do solo
10. Comprometimento da qualidade das águas pluviais	10a. Comprometimento da qualidade dos lançamentos superficiais	27. Carga polidora potencial no solo
	10b. Comprometimento da qualidade das águas infiltradas	28. Vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea
11. Erosão e assoreamento	11a. Transporte de sedimento pelas águas pluviais	29. Suscetibilidade do solo à erosão

Fonte: Corrêa, 2021.

Quadro 6 - Indicadores de Resiliência Hídrica Urbana associados ao G&P

Componente	Variáveis	Indicador
12. Legislação	12a. Leis e normas que consideram a RHU	30. Número de instrumentos legais municipais que considera a RHU
13. Planejamento	13a. Planos específicos atualizados considerando a RHU	31. Existência de plano (s) específico (s) para a RHU
		32. Frequência da atualização dos planos de gerenciamento de desastres
	13b. Capacidade de redundância dos sistemas hídricos	33. Existência de redundância no SAA, SES e SDU
	13c. Adoção de planos de contingência	34. Existência de Planos de contingência para o SAA, SES e SDU
14. Estrutura organizacional de gestão	13d. Provisão de recursos financeiros para emergências e recuperação	36. Possibilidade de acesso imediato a recursos financeiros suficientes para ações de recuperação
	14a. Coordenação eficaz entre os sistemas hídricos e com outros órgãos	37. Existência de articulação entre os setores relacionados à RHU
		38. Percentagem de capacitação de profissionais dos sistemas hídricos para atuar na RHU
	14b. Capacitação de pessoal para atuar em relação à RHU	39. Percentagem de equipes de emergência que receberam treinamento de resposta a desastres
14c. Monitoramento dos sistemas hídricos	14d. Disponibilização dos dados	40. Existência de ações atualizadas de monitoramento nos sistemas hídricos
		41. Percentagem de dados eletrônicos da cidade com <i>back-up</i> de armazenamento seguro e remoto
		42. Percentagem da área da cidade coberta por mapas de ameaças disponíveis ao público

Componente	Variáveis	Indicador
	14e. Avaliação, previsão e prevenção de riscos (mapas de riscos, sistemas de alerta e Defesa Civil estruturada)	43. Existência de mapas de riscos atualizados
		44. Porcentagem da população da cidade coberta por sistemas de alerta prévio de ameaças múltiplas
		45. Existência de defesa civil estruturada
15. Participação e envolvimento da sociedade	15a. Conscientização e preparação da comunidade em relação à RHU (Educação Ambiental, treinamento)	46. Porcentagem de escolas que ensinam preparação para emergências e redução de riscos de desastres
		47. Porcentagem da população treinada em preparação para emergências e redução de riscos de desastres
	15b. Instâncias de participação da sociedade (conselhos, comitês, grupos de trabalho)	48. Existência de espaços de participação da sociedade relacionados à RHU
		49. Participação da população em consultas, audiências públicas, encontros técnicos e oficinas relacionados à RHU
	15c. Assistências para emergências e populações vulneráveis	50. População vulnerável como porcentagem da população da cidade
		51. Previsão de ações relacionadas à RHU voltada para população vulnerável
	15d. Assistências para emergências a populações	52. Existência de parcerias entre órgãos governamentais e não governamentais voltados à RHU.
		53. Número de acordos intergovernamentais destinados ao planejamento de choques como porcentagem do total de acordos intergovernamentais

Fonte: Corrêa, 2021.

Vale ressaltar que os indicadores elencados nesta pesquisa são uma proposta ou recomendação. Alguns deles são indicadores robustos, com trajetória metodológica mais embasada, enquanto outros são mais recentes e precisam ser mais bem avaliados. Como consequência, os indicadores aqui apresentados sempre poderão ser reavaliados e eventualmente modificados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Proposições de Diretrizes e Estratégias Para Incorporação da RHU Pelos Municípios

#### 5.1.1 Cenários considerados

O intuito nesta etapa foi desenvolver um processo norteador para que a cidade se torne mais resiliente hidricamente, auxiliando os tomadores de decisão a planejarem metas, identificar vulnerabilidades e riscos e elaborar ações relacionadas à RHU.

Para tanto, foram considerados três cenários para a incorporação da RHU pelos municípios, sem prejuízo de outras possibilidades. Tais cenários podem ser:

- a) Cenário 1: adoção dos elementos da RHU nos planos setoriais municipais (SAA, SES e SDU);
- b) Cenário 2: adoção da RHU de forma unificada, integrando as várias componentes da gestão hídrica urbana; e

c) Cenário 3: adoção da RHU como parte de um Sistema de Resiliência Urbana mais amplo.

O **Cenário 1** apresenta como vantagem o fato de que normalmente os planos de saneamento ou setoriais já existam, bastando, em um processo de revisão, incorporar os aspectos de RHU e os indicadores. Isso pode ser feito para cada um dos sistemas hídricos ou por meio de um capítulo específico de RHU no plano municipal de saneamento.

O **Cenário 2** seria caracterizado por uma abordagem integrada e unificada da RHU e seus indicadores, na forma, por exemplo, da elaboração de um plano de Resiliência Hídrica Urbana. Além de dar um sentido holístico e aumentar a percepção da RHU, esse cenário favorece a articulação entre os níveis municipal e regional, por exemplo, por meio da gestão por Bacias Hidrográficas.

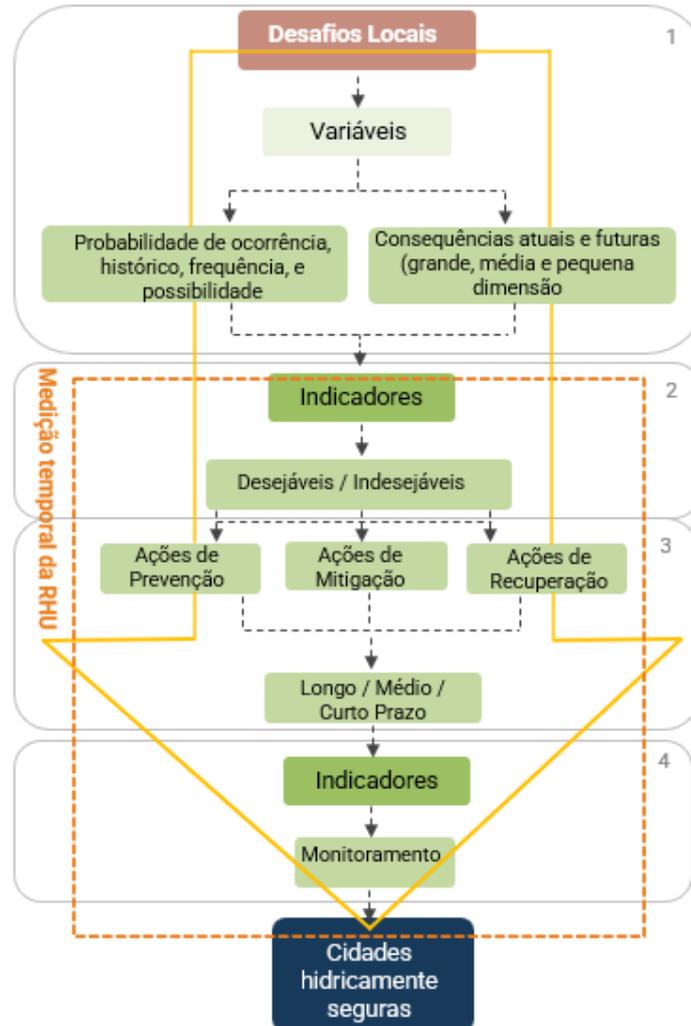
O **Cenário 3**, no qual a RHU faz parte da Resiliência mais ampla, apresenta essa mesma dificuldade inicial do Cenário 2, que é desenvolver de novos instrumentos. Entretanto, se a cidade pretende tornar-se Resiliente (como, por exemplo, aquelas signatárias do programa “Construindo Cidades Resilientes”), seria uma obrigatoriedade fazer essa abordagem sobre a Resiliência em geral.

Vale destacar que esta pesquisa não fará uma indicação para um determinado Cenário. Cada cidade pode apresentar condições que favoreçam a adoção de um deles. Por exemplo, o Cenário 1, de implementação mais imediata, pode ser a forma de entrada da RHU nos sistemas hídricos, evoluindo posteriormente para os Cenários 2 ou 3.

#### 5.1.2 Estratégias para incorporação da resiliência hídrica urbana

No presente trabalho adaptou-se a metodologia proposta por Matiazzi e Bragança (2018), que além de ser específica para os aspectos hídricos, a principal adaptação diz respeito ao emprego dos indicadores de RHU. A Figura 3 esquematiza resumidamente a composição geral e as fases do método para a construção da RHU, que serão descritas na sequência.

Figura 3 - Esquema do método para Resiliência Hídrica Urbana



Fonte: Corrêa, 2021.

A seguir apresenta-se o detalhamento de cada fase da Figura 3.

- **Fase 1:** Estimativa de Risco (Probabilidade *versus* Consequências). Os eventos associados à RHU requerem quantificação em termos de probabilidade de ocorrência e avaliação das suas consequências. As técnicas utilizadas para isso podem ser definidas a partir daquelas usualmente empregadas em avaliações de risco. Por exemplo, os eventos associados à RHU podem ser mais significativos no que diz respeito ao abastecimento de água ou à ocorrência de inundações.

- **Fase 2:** Definição e aplicação dos indicadores de RHU. Aplicando indicadores para medir a RHU, é possível medir e avaliar o passado e construir o futuro de acordo com os dados disponíveis. Essa fase envolve determinar quais são os valores desejáveis para cada um dos indicadores, com base em observações, medições, cálculos ou inferências. Além de possibilitar um melhor desempenho nas demais fases da metodologia, a utilização de indicadores nesta Fase permite a adoção de ações.

- **Fase 3:** Definir possíveis Ações de Prevenção, Mitigação e Recuperação. Nesta fase do método, primeiro devem ser definidas as ações necessárias para prevenção, mitigação e

recuperação da cidade. Para cada uma das variáveis associadas aos indicadores, são propostas ações em momentos distintos, ou seja, antes, durante e após os eventos. Para esse método, propõe-se que sejam realizadas ações preventivas a longo e médio prazo. No que diz respeito à recuperação, as ações podem ser de curto, médio e longo prazo, dependendo de cada caso.

Em determinadas situações pode ser mais vantajoso para a cidade investir em prevenção do que em mitigação ou adaptação. As escolhas das ações precisam levar em consideração cada contexto específico e, claro, a questão dos custos. Em termos de recuperação, ações como: controle de qualidade dos recursos hídricos com monitoramento frequente.

- **Fase 4:** Monitoramento contínuo por indicadores. Conforme a cidade for se adaptando à RHU, os indicadores são novamente aplicados para um processo contínuo de análises, medições e percepção de mudança de cenários, sejam eles positivos ou negativos. A utilização de indicadores nesta fase visa a auxiliar no monitoramento, melhorando o processo de tomada de decisão na prevenção, mitigação e recuperação em diferentes níveis. À medida que a cidade se adapta à RHU, os indicadores são novamente aplicados para um processo contínuo de análises, medições e percepção de mudanças de cenários, sejam eles positivos ou negativos. Mesmo sem a ocorrência do evento, é preciso monitorar a cidade.

- **Cidade Hidricamente Segura:** Uma cidade resiliente tem maior capacidade de antecipar, preparar e adaptar, tornando-se capaz de se organizar para lidar com eventos e riscos que afetam seus sistemas hídricos. Adotar o paradigma da unificação dos Sistemas Hídricos e ter em conta as RHU permitirá às cidades avaliarem o presente e construir o futuro.

## 6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa propôs diretrizes e estratégias para a incorporação da Resiliência Hídrica Urbana (RHU) em municípios com o uso de indicadores. Para esta pesquisa, a RHU foi entendida como a capacidade de um sistema hídrico urbano (suas entradas e saídas) continuar a funcionar ou persistir após ser alterado, mas não necessariamente para permanecer o mesmo, porém, mantendo a mesma estrutura básica e modos de funcionamento.

Constatou-se, por meio da revisão da literatura, que a RHU ainda não é abordada de maneira integrada nos Sistemas Hídricos Urbanos. Geralmente há uma abordagem independente para cada um desses Sistemas, com ênfase nas questões das inundações e escassez hídrica. Como a abordagem convencional que divide os Sistemas em Abastecimento de Água (SAA), Esgotamento Sanitário (SES) e Drenagem Urbana (SDU) ainda predominam amplamente, optou-se por manter essa divisão. No entanto, na tentativa de iniciar uma abordagem integrada entre os Sistemas Hídricos e a Resiliência, a presente pesquisa avançou ao unificar a Gestão e Participação (G&P) em uma única Componente.

A fim de se constatar se este conceito de Resiliência já vem sendo utilizado no Brasil, buscou-se pela sua presença em Planos Municipais de cidades médias signatárias do programa *Making Cities Resilient: My City is Getting Ready*, elaborado pela UNISDR, ou seja, cidades que apresentaram interesse na temática da Resiliência.

A partir da análise dos Planos selecionados não foi encontrada nenhuma menção direta ao termo Resiliência. Entretanto, foi possível identificar alguns aspectos e variáveis

relacionados direta ou indiretamente à RHU. Esses aspectos foram observados principalmente na G&P, que também apresenta a variável “instâncias de participação da sociedade”, como a mais abordada diretamente pelos Planos.

Para cada um dos três Sistemas Hídricos, buscou-se fazer abordagens para os aspectos quantitativos e qualitativos, tanto externos quanto internos aos sistemas, sempre relacionando com eventos para os quais a RHU deveria ser considerada.

Para as variáveis sistematizadas foram, a seguir, associados indicadores. Alguns deles, já consolidados, adotaram a partir da literatura, embora tenham sofrido adaptações para melhor refletir RHU. Além disso, foram propostos novos indicadores ao longo da pesquisa.

Como etapa final da pesquisa, as diretrizes e estratégias pensadas para a incorporação da RHU pelos Municípios foram consolidadas na forma de um método, levando em conta os indicadores. Foram considerados três cenários em que a RHU poderia estar presente: nos Planos Setoriais (SAA, SES e SDU), em um Plano unificando estes Sistemas Hídricos ou, ainda, como parte de um Sistema de Resiliência Urbana mais amplo. Independente do cenário, mantém-se a estratégia do monitoramento contínuo da RHU, considerando momentos antes, durante e após eventos relacionados aos Sistemas Hídricos Urbanos.

Com a medição por indicadores, em cada fase a cidade pode aprimorar suas potencialidades e corrigir suas falhas a curto, médio e longo prazo, desenvolvendo ações de prevenção, mitigação e recuperação, de modo a aprimorar o processo de tomada de decisão.

A pesquisa realizada permitiu aprofundar os conhecimentos referentes à aplicação dos indicadores para mensurar a RHU. Além disso, foi proposta uma abordagem integrada dos Sistemas Hídricos, possibilitando um maior desempenho na avaliação e ao mesmo tempo admitindo uma visão global dos Sistemas. A presença da RHU e a abordagem unificada dos Sistemas Hídricos Urbanos favorecerão o planejamento e a adoção de estratégias para se ter uma cidade hidricamente segura.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLENBY, B.; FINK, J. Toward inherently secure and resilient societies. *Science*, v.309, n.5737, p.1034-1036, ago.2005. Disponível em: [https://cspo.org/legacy/library/110215F4SI lib\\_AllenbyFink2005S.pdf](https://cspo.org/legacy/library/110215F4SI_lib_AllenbyFink2005S.pdf). Acesso em: 28 ago.2017.

MARTINS, R. C. A construção social da economia política da água, *Sociologia, Problemas e Práticas* [Online], 73 | 2013, posto online no dia 23 agosto 2013. Disponível em: <http://journals.openedition.org/spp/1335>. Acesso: 06 ago.2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37123: Cidades e comunidades sustentáveis- Indicadores para cidades resilientes**. Primeira edição 21.01.202. Rio de Janeiro, p.117. 2021. Exemplar para uso exclusivo - Código Identificador #749637@461390#.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **ABNT NBR ISO 37120:2017. Desenvolvimento sustentável de comunidades- Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida**. Rio de Janeiro. 2017.

BATTY, M. The size, scale, and shape of cities. *Science*, v. 319, n. 5864, p. 769-771, 2008. Disponível em: [769-771.http://dx.doi.org/10.1126/science.1151409](http://dx.doi.org/10.1126/science.1151409). Acesso em: 10 dez. 2017.

CARVALHO, L. et al. Risco, desastre e resiliência – um desafio para a cidade da Amadora. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 9., 2013, Évora. *Anais [...]*. Évora: Universidade de Évora. 2013.

Disponível em: [http://www.cmamadora.pt/images/protecao\\_civil/amadora\\_resiliente/risco\\_desastre\\_resiliencia\\_amadora.pdf](http://www.cmamadora.pt/images/protecao_civil/amadora_resiliente/risco_desastre_resiliencia_amadora.pdf). Acesso em: 01 fev. 2018.

CONSELHO MINISTERIAL AFRICANO SOBRE A ÁGUA-AMCOW. Segurança da Água e Desenvolvimento Resiliente às Alterações Climáticas. Documento Técnico de Referência. **Global Water Partnership**. 2013.

CORREIA, Thais Helena Prado. **Resiliência hídrica urbana: diretrizes e estratégias para sua Incorporação em Municípios com o uso de indicadores**. 2021. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15316>. Acesso em: 25 jun. 2024.

ESCRITÓRIO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES -UNISDR. Construindo Cidades resilientes, 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencia/unisdr/>. Acesso em: 30 set. 2016.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES – Governos Locais para a Sustentabilidade. **Kit de Treinamento SWITCH: Gestão Integrada das Águas na Cidade do Futuro**. Módulo 1 – Planejamento estratégico: Preparando-se para o futuro. Coordenação técnica: Nilo de Oliveira Nascimento. Coordenação editorial: Florence Karine Laloë. 1. ed. SÃO PAULO, 2011. Disponível em: [http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch\\_training/files/Module\\_s/Modules\\_Portuguese/Resumo\\_brochura.pdf](http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Module_s/Modules_Portuguese/Resumo_brochura.pdf). Acesso em: 06 out. 2016.

MATIAZZI, G. S.; BRAGANÇA, L., **Metodologia para análise, planejamento e monitoramento de resiliência urbana**, In: JORNADA URBENERE e JORNADA CIRES, 14 e 2, 2018. Vitória:2018. Disponível em: < [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/59305/1/7URBENERE\\_CIRES\\_2018\\_paper\\_375.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/59305/1/7URBENERE_CIRES_2018_paper_375.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

MILMAN, A.; SHORT, A. Incorporating resilience into sustainability indicators: An example for the urban water sector. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, p. 758-767, 2008.

NAHAS, M. I.P; PEREIRA, M. P. M.; GONÇALVES; O. A. E.E. Metodologia de construção do Índice de Qualidade urbana dos municípios brasileiros (IQVU-BR). In: **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, Caxambu, set. 2006. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1525/1489>. Acesso 21 jan. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. ONU. **Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III)**, 2014a. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/terceira-conferencia-da-onu-sobre-moradia-habitat-iii-sera-realizada-em-quito-no-equador/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

LU, P., & STEAD, D. Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. **Cities**, v. 35, p 200–212, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001>. Acesso: 08 de jul. 2017.

RESILIENCE ALLIANCE. **Urban Resilience Research Prospectus: A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures**. Canberra, Australia, Phoenix, USA, Stockholm, Sweden. 2007.

ROSE, A. Economic resilience to natural and man-made disasters: multidisciplinary origins and contextual dimensions. **Environmental Hazards**. 7:383-398. 2007.

SANTOS, R. M. dos. **A utilização do Indicador de Salubridade Ambiental ISA como ferramenta de planejamento aplicado à cidade de Aquidauana**, MS. 2008. Disponível em: [http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Usoderecursos/18.\(PDF\)](http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Usoderecursos/18.(PDF)). Acesso: 10 fev. 2020.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F do A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, v.17, p.129-45, 2003 Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142003000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142003000100007&script=sci_arttext)Acesso em: 25 fev. 2016.

PAIS, J.; ELLIOT, J. Places as recovery machines: vulnerability and neighborhood change after major hurricanes. **Social forces**, n.86, p.1405-1453, 2008.

WALKER, B.; SALT, D. **Resilience practice: building capacity to absorb disturbance and maintain function**. Island, Washington, D.C., USA. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5822/978-1-61091-231-0>. Acesso: 04 jun. de 2018.