



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - BACIAS PCJ

Júlia Fonseca Colombo Andrade, USP, julia-colombo@hotmail.com;
Paulo Silas do Amaral, PUC – Campinas, psamaral68@gmail.com;
Rubens Yoshimassa Moriya, USP, rubens.moriya@usp.br;
Ana Cristina Costa Matos, USP, anacristmatos@hotmail.com;
Gabryella Cerri Mendonça, USP, gcerim@usp.br;
João José Assumpção de Abreu Demarchi, Instituto de Zootecnia, Secretaria de Agricultura e
Abastecimento de São Paulo, joaodemarchi@sp.gov.br

Resumo

Uma melhor gestão dos recursos hídricos em todo o mundo é determinante para superar os obstáculos ao desenvolvimento sustentável. Para auxiliar gestores e políticas públicas, indicadores foram desenvolvidos, de modo a medir a sustentabilidade dos recursos hídricos e possibilitar a sintetização de informações e tomada de decisões. No presente trabalho, o índice de sustentabilidade da bacia hidrográfica (WSI), que integra as dimensões hidrológicas, ambientais, sociais e políticas e aplica um modelo dinâmico de pressão-estado-resposta a essas quatro dimensões em um esquema de matriz foi aplicado nas bacias PCJ, Brasil. O trabalho teve por objetivo apontar os aspectos que necessitam de maior atenção na tomada de decisões, planejamento e gestão nas bacias. A área total das bacias é de 5.377,81 km², com uma população urbana superior a 95%. Os indicadores sociais e políticos apresentaram ótimos resultados, já os indicadores mais críticos e que merecem destaque foram os da dimensão ambiental, seguidos dos da dimensão hidrológica com relação à disponibilidade de água per capita nas bacias. De modo geral as bacias PCJ apresentaram um índice de sustentabilidade mediano.

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável, recursos hídricos, pressão-estado-resposta

1. Introdução

Sustentabilidade pode ser definida como a integração equilibrada de desempenho econômico, inclusão social e resiliência ambiental, em benefício das gerações atuais e futuras (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Para Gibson (2006), a sustentabilidade é um conceito essencialmente integrativo e que deve abarcar meios de avaliação que integrem fundamentos e proporcionem aos tomadores de decisão e gestores resultados duradouros, oriundos de políticas e planos mais bem estruturados. Sendo necessário que se faça uma avaliação da sustentabilidade para que sejam tomadas decisões coerentes com a realidade de cada local, equacionando os problemas existentes.

Os indicadores de sustentabilidade surgiram como uma ferramenta essencial para avaliar os objetivos de desenvolvimento de uma proposta sustentável (Batalhão *et al.*, 2019). O uso de indicadores de sustentabilidade permite monitorar e avaliar os processos de desenvolvimento, ajuda a justificar o financiamento de políticas públicas e facilita a adoção de práticas de desenvolvimento sustentável.

Diversos autores utilizam bacias hidrográficas como demarcação de área geográfica para estudos de indicadores de desenvolvimento sustentável (Roboredo *et al.*, 2016; Mondal *et al.*,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

2020, Ferreira *et al.*, 2020, Silva *et al.*, 2020). O sistema de gestão descentralizado e participativo em que a participação pública é exercida por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas se mostra alinhado com os atuais sistemas de gestão dos recursos hídricos, que tem buscado a participação pública utilizando modelos de gestão que visam contemplar a complexidade por meio de um processo participativo em construção (Silva *et al.*, 2020). Além disso, a base para a gestão dos recursos hídricos em uma bacia está na descentralização, participação e integração, se relacionando diretamente com uma equidade intergeracional e com um desenvolvimento sustentável.

Segundo Chaves e Alipaz (2007) aspectos sociais, econômicos e ambientais interferem na sustentabilidade de uma bacia hidrográfica, desta forma um indicador confiável para aferir a sustentabilidade da bacia deve considerar que a gestão dos recursos hídricos é um processo dinâmico. À vista disso, os autores propuseram o Índice de Sustentabilidade para Bacias Hidrográficas (*Water Sustainability Index - WSI*), assumindo que a sustentabilidade hídrica de uma bacia é função das dimensões hidrológicas, ambientais, sociais e políticas, e aplicaram um modelo dinâmico de pressão-estado-resposta (OECD, 2003) a essas quatro dimensões em um esquema de matriz.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a sustentabilidade das bacias hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, situadas na região sudeste do Brasil, por meio da aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) de modo a apontar para aspectos que necessitem de maior atenção na tomada de decisões, planejamento e gestão das bacias.

2. Fundamentação teórica

2.1. Crise hídrica

Estima-se que em 2050 a população esteja em 9,8 bilhões de pessoas, das quais 66,4% vivendo nos grandes centros urbanos e 40% vivendo em condições severas de escassez de água (ONU, 2020). No Brasil, mesmo com a alta disponibilidade hídrica, bacia como o do rio Tietê, no estado de São Paulo, vivencia períodos de seca e extrema seca. Segundo o Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos (ANA, 2019), 80% das águas superficiais brasileiras encontram-se na região hidrográfica Amazônica, cuja densidade demográfica é baixa. Sobre os usos da água, o relatório identifica que a demanda, nas últimas duas décadas, cresceu 80% no total de águas retiradas e as previsões apontam para um aumento de 26% até 2030.

A elevada demanda para os múltiplos usos da água, combinada com prolongados períodos de estiagem têm aumentado os riscos de desabastecimento e crises sociais, econômicas e ambientais de alto impacto. Períodos de seca vêm sendo observados desde 2005 no Sudeste brasileiro. O mais recente se deu nos anos de 2014 a 2015 e foi considerado um período crítico por sua severidade. As constatações e lições aprendidas com respeito à vulnerabilidade hídrica exigem, cada vez mais, esforços de gestão e que incluam um planejamento visando diminuir os riscos e evitar as crises através de mensurações, avaliações e monitoramento dos recursos hídricos (Fernandes, 2015).

Nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiáí o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos aponta que a disponibilidade hídrica tem se mostrado crítica, de acordo com a ONU



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

(Unesco, 2012), pois apresenta uma diminuição de 4% no período compreendido entre 2014 a 2019. Em 2014, a disponibilidade estava em 1.014,13 m³/hab./ano, passando para 971,08 m³/hab./ano de 2018 (Comitês PCJ, 2020).

2.2 Indicadores de sustentabilidade

A partir da recomendação do capítulo 40 da Agenda 21 Global, as Nações Unidas iniciaram um projeto para a construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS) de modo a apoiar processos de tomada de decisões em escala global, nacional e local. A medição e o monitoramento são partes essenciais para a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável, mas, embora existam diversos métodos e ferramentas para avaliá-los, a construção de indicadores é a abordagem mais utilizada (Pope *et al.*, 2017).

Segundo De Sherebinin *et al.* (2013) e Rogmans e Ghunaim (2016) os indicadores visam agregar e quantificar as informações, para que seu significado seja mais evidente e simplificado, melhorando o processo de comunicação. Desta forma, vários índices foram desenvolvidos, sendo ferramentas úteis para monitorar a sustentabilidade, entender tendências e auxiliar nas tomadas de decisões (Gibson, 2006; Bond *et al.*, 2013; Ramos, 2019). Todavia é importante ressaltar que os indicadores de sustentabilidade não são medidas absolutas da sustentabilidade, mas ferramentas para avaliar o cenário atual e auxiliar nas medidas para alcançar os objetivos propostos.

O Índice de Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica (WSI) é um indicador integrado que utiliza uma função de pressão-estado-resposta com base na bacia. O WSI foi desenvolvido para medir a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica específica durante um período de tempo e incorpora os aspectos hidrológicos, ambientais, sociais e políticos. Esses aspectos afetam a sustentabilidade da água e muitas vezes são tratados separadamente e não como um processo integrado e dinâmico. O índice WSI varia entre 0 (não sustentável) a 1 (altamente sustentável), permitindo a comparação da sustentabilidade entre bacias e a sua evolução ao longo do tempo. Bacias como o do Rio São Francisco Verdadeiro (Chaves e Alipaz, 2007), o do Rio Japarutuba (Maynard *et al.*, 2017) e Piranhas-Açu (Silva *et al.*, 2020) localizadas no Brasil e a bacia Piperiya (Chandniha *et al.*, 2014), localizada na Índia e a bacia do rio Motru, localizada na Romênia (Mititelu-Ionus, 2017), foram avaliadas e os autores obtiveram o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas.

3. Metodologia

3.1 Área de estudo

As Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) estão localizada na região sudoeste do Brasil, com uma área total de 5.377,81 km², sendo 92,4% no Estado de São Paulo e 7,6% no Estado de Minas Gerais, sendo os cursos hídricos sob domínio dos estados de São Paulo, Minas Gerais e da União. Sob sua abrangência encontra-se total ou parcialmente o



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

território de 76 municípios, abriga uma população superior a 5,8 milhões de habitantes, sendo que 95,1% reside em área urbana (IBGE, 2010). Na Figura 1 é apresentada a área das bacias PCJ com as respectivas cidades nas quais os rios se encontram.

Figura 1. Domínios das bacias hidrográficas dos rios PCJ.



Fonte: Comitês PCJ (2020).

Nas bacias há o predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo (50,5%), a segunda classe mais representativa são os latossolos, ocupando 35,6% da área total das bacias PCJ. Quanto ao clima é de modo geral do tipo quente, temperado e chuvoso, apresentando três faixas de ocorrências, classificadas segundo a classificação de Köppen em: Subtipo Cfb, sem estação seca e com verões tépidos, nas porções baixas das bacias; Subtipo Cfa, sem estação seca e com verões quentes, nas partes médias das bacias; Subtipo Cwa, com inverno seco e verões quentes, nas porções serranas das cabeceiras (Comitês PCJ, 2020).

3.2 Índice de Sustentabilidade das bacias

A metodologia utilizada no presente trabalho foi proposta por Chaves e Alipaz (2007) e adaptada por Maynard *et al.* (2016) e considera um horizonte de cinco anos. Nas bacias PCJ o horizonte abordado compreende de 2014 a 2018.

O modelo proposto pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco, 2008) denominado HELP, que é composto por quatro dimensões: hidrológica (H – *hydrology*), ambiental (E – *environment*), social (L – *life*) e política (P – *policy*), foi utilizado. Assumindo que a sustentabilidade hídrica de uma bacia é função destas quatro dimensões, um modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) (OECD, 2003) foi aplicado, sendo apresentado no Quadro 1.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Quadro 1. Parâmetros que compõem o Índice de Sustentabilidade da bacia hidrográficas (WSI), quanto a Pressão, Estado e Resposta, relativos a cada um dos quatro indicadores (HELP).

Indicadores	Pressão	Estado	Resposta
	Parâmetros		
Hidrológico	Variação da disponibilidade de água per capita nas bacias no período	Disponibilidade de água per capita nas bacias	Evolução na eficiência do uso da água tratada
	Variação do índice de qualidade de água (IQA) nas bacias	IQA- Índice de qualidade de água nas bacias	Evolução no tratamento de esgoto nas bacias
Ambientais	Índice de Pressão antrópica nas bacias (unidades de conservação) no período estudado	Porcentagem da área das bacias com vegetação natural	Evolução nas áreas de conservação nas bacias (áreas protegidas e boas práticas de manejo- BMPs)
Sociais	Variação do IPRS (dimensão Riqueza)	Indicador ODS 3.9.2 - Taxa de mortalidade atribuída a fontes de água inseguras, saneamento inseguro e falta de higiene	Evolução do Indicador ODS 3.9.2
Políticos	Variação do IPRS (dimensão escolaridade)	Capacidade legal e institucional em gerenciamento integrado de recursos hídricos (GIRH) nas bacias	Evolução dos gastos em gerenciamento integrado de recursos hídricos (GIRH) nas bacias no período

Diferentemente de Chaves e Alipaz (2007) e Maynard *et al.* (2016), que utilizaram o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) nas dimensões sociais e políticas, no presente trabalho foi utilizado o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS). O IPRS, cujas edições são a cada dois anos, é baseado no IDH e é composto de três dimensões: riqueza, longevidade e educação. Em cada uma das dimensões são avaliados componentes específicos e que resultam em um indicador sintético de cada uma delas (Alesp, 2019).

O índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI) proposto por Chaves e Alipaz (2007) é dado por:



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

$$WSI = (H + E + L + P) / 4 \quad (1)$$

O WSI varia de 0 a 1, sendo classificado em baixo, com valor inferior ou igual a 0,5; médio entre 0,5 e 0,8 e alto quando maior ou igual a 0,8 (Chaves, 2009). Para cada combinação de indicadores e parâmetros, um valor entre 0 e 1 foi atribuído, sendo um valor de 0,00 atribuído aos níveis mais baixos e 1,00 às condições ideais. No Quadro 2, encontram-se os parâmetros e seus respectivos pesos para obtenção dos indicadores H,E,L,P por meio do modelo de Pressão, Estado e Resposta.

Quadro 2. Peso dos indicadores de Pressão, Estado e Resposta quanto ao indicador, parâmetro e nível.

PRESSÃO			
Indicador	Parâmetro	Nível	Peso
Hidrológico	$\Delta 1$ - Variação na disponibilidade de água per capita (m ³ /hab/ano)	$\Delta 1 \leq -20\%$ $-20\% < \Delta 1 \leq -10\%$ $-10\% < \Delta 1 \leq 0\%$ $0 < \Delta 1 \leq +10\%$ $\Delta 1 > +10\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	$\Delta 2$ - Variação no índice de qualidade de água (IQA) nas bacias	$\Delta 2 \leq -20\%$ $-20\% < \Delta 2 \leq -10\%$ $-10 < \Delta 2 \leq 0\%$ $0\% < \Delta 2 \leq +10\%$ $\Delta 2 > +10\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Ambiental	EPI- Variação no índice de Pressão antrópica nas bacias	$EPI \geq +20\%$ $+20\% > EPI \geq +10\%$ $+10\% > EPI \geq +5\%$ $+5\% > EPI \geq 0\%$ $EPI < 0\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Social	Variação no IPRS Dimensão Riqueza	$\Delta \leq -20\%$ $-20\% < \Delta \leq -10\%$ $-10\% < \Delta \leq 0\%$ $0 < \Delta \leq +10\%$ $\Delta > +10\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Político	Variação no IPRS Dimensão Escolaridade	$\Delta \leq -20\%$ $-20\% < \Delta \leq -10\%$ $-10\% < \Delta \leq 0\%$ $0 < \Delta \leq +10\%$ $\Delta > +10\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

ESTADO			
Hidrológico	Wa-Disponibilidade de água per capita (m ³ /hab/ano)	Wa ≤ 1700 1700 < Wa ≤ 3400 3400 < Wa ≤ 5100 5100 < Wa ≤ 6800 6800 > Wa	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	IQA- Índice de qualidade de água nas bacias	IQA ≤ 20 20 < IQA ≤ 37 37 < IQA ≤ 52 52 < IQA ≤ 80 IQA > 80	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Ambiental	Av- Porcentagem de vegetação natural remanescente nas bacias	Av ≤ 5 5 < Av ≤ 10 10 < Av ≤ 25 25 < Av ≤ 40 Av > 40	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Social	Indicador ODS 3.9.2 - Taxa de mortalidade atribuída a fontes de água inseguras, saneamento inseguro e falta de higiene	ODS ≥ 20 20 > ODS ≥ 15 15 > ODS ≥ 10 10 > ODS ≥ 5 ODS < 5	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Político	Capacidade legal e institucional em Gestão Integrada de Recursos Hídricos - GIRH - nas bacias	Muito pobre Pobre Regular Bom Excelente	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
RESPOSTA			
Hidrológico	Melhoria na eficiência de uso de água nas bacias no período	Muito pobre Pobre Regular Bom Excelente	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	Melhoria no tratamento e disposição de esgoto nas bacias no período	Muito pobre Pobre Regular Bom Excelente	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Ambiental	Evolução nas áreas protegidas (Reservas e boas práticas de manejo) nas bacias no período	$\Delta \leq -10\%$ $-10\% < \Delta \leq 0\%$ $0 < \Delta \leq 10\%$ $10\% < \Delta \leq 20\%$ $\Delta > 20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Social	Evolução do Indicador ODS 3.9.2: Taxa de mortalidade atribuída a fontes de água inseguras, saneamento inseguro e falta de higiene	$\Delta \leq 10\%$ $+10\% < \Delta \leq 0\%$ $0 < \Delta \leq -10\%$ $-10\% < \Delta \leq -20\%$ $\Delta > -20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
Político	Evolução dos gastos em GIRH nas bacias, no período	$\Delta \leq -10\%$ $-10\% < \Delta \leq 0\%$ $0 < \Delta \leq +10\%$ $10 < \Delta \leq +20\%$ $\Delta > +20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00

Adaptado de Chaves e Alipaz (2007)

O índice de pressão antrópica na bacia (EPI) estimado para as bacias PCJ, no período de 5 anos, foi obtido segundo a Equação 2, as variações são dadas em porcentagem. A evolução em áreas protegidas e em áreas com boas práticas de manejo (BPM) representa a variação percentual em termos de área, semelhante ao EPI.

$$EPI = \frac{\text{variação na área agrícola das bacias} + \text{variação da população urbana}}{2} \quad (2)$$

O EPI pode ser positivo, negativo ou igual a zero, valores positivos indicam pressões mais altas sobre a vegetação natural remanescente. As áreas agrícolas, áreas com vegetação natural e as áreas protegidas e com boas práticas de manejo foram obtidas por meio de mapas de uso do solo disponibilizados pelo IBGE (2020), utilizando o software QGIS, versão 2.8.1.

O indicador Hidrologia tem dois conjuntos de parâmetros, o qualitativo, IQA e o quantitativo, disponibilidade de água per capita. No parâmetro Resposta foi utilizada a melhoria na eficiência de uso da água nas bacias e no tratamento e disposição de esgoto, no período estudado, sendo o nível desses indicadores classificado como muito pobre, pobre, médio, bom e excelente.

A eficiência de uso da água tratada foi classificada de acordo com o índice de perdas totais de água nos sistemas de abastecimento. Segundo o European Commission (2015) valores inferiores a 100 L/ligação. dia a perda é considerada muito baixa, entre 100 e 150 L/ligação. dia, baixa, entre 150 e 250 L/ligação. dia, moderada, entre 250 e 500 L/ligação. dia, alta e superior a 500 L/ligação. dia, muito alta. No presente trabalho foi considerado o valor de índice de perdas totais de água de distribuição acima de 500 L/ligação. dia como uma melhoria muito pobre, entre 500 e 250 L/ligação. dia como pobre, entre 150 e 250 L/ligação. dia como regular, entre 100 e 150 L/ligação. dia, bom e inferior a 100 L/ligação. dia como excelente. Com relação



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

a eficiência do sistema de esgotamento, a seguinte classificação foi empregada: menos ou igual a 19% do esgoto gerado é tratado, a eficiência foi considerada muito pobre, entre 20 e 49% , pobre, entre 50 e 79% , regular, entre 80 e 89% bom e acima de 90% de tratamento de esgoto foi considerado excelente.

4. Resultados

Entre os anos de 2014 a 2018 a disponibilidade de água per capita decaiu 4, 26%, já o IQA subiu 9,03 % (Comitês PCJ, 2019). A disponibilidade de água per capita, no ano de 2018, foi de 971,08 m³/hab/ano e o IQA de 53,35% (Comitês PCJ, 2019). Já a melhoria na eficiência de uso de água foi considerada regular, em 2014 o índice de perdas totais nas bacias PCJ foram em média de 240 L/ligações.dia , municípios como Piracicaba, Santa Bárbara do Oeste e Sumaré apresentavam um índice de perdas superior a 600 L/ligações.dia (Trata Brasil, 2017). A melhoria no tratamento e disposição do esgoto nas bacias PCJ no período de 2014 a 2018 também foi regular. A taxa de coleta subiu de 92,3 % em 2014 para 93,3% em 2018, já o esgoto tratado subiu de 72,7% para 76,8%, no mesmo período (Comitês PCJ, 2019).

Após o levantamento das informações relativas aos indicadores das dimensões Hidrológicas (H), Ambientais (E), Sociais (L) e Políticas (P) para as bacias PCJ os valores correspondentes às células do Quadro 2 foram preenchidos e o WSI global foi calculado, como apresentado na Tabela 1. Os níveis e pontuação de cada indicador em matriz Pressão - Estado - Resposta foram: hidrológico 0,50; ambiental: 0,42; social: 0,83; e político 1. O valor do índice de sustentabilidade da bacia foi de 0,69, considerado um nível médio de sustentabilidade (valor entre 0,5 e 0,8).

Tabela 1. Matriz de composição do WSI de indicadores de Pressão, Estado e Resposta das bacias PCJ

DIMENSÕES	Pressão		Estado		Resposta		Subtotal
	Nível	Pontuação	Nível	Pontuação	Nível	Pontuação	
	-4,26%	0,50	971,08	0	Regular	0,50	0,33
Hidrológica	9,03%	0,75	53,35%	0,75	Regular	0,50	0,67
Ambiental	2,72%	0,75	7,44%	0,25	0%	0,25	0,42
Social	-2,90%	0,50	3,1	1,00	-24,26%	1,00	0,83
Política	21,88%	1,00	Excelente	1,00	91,93%	1,00	1,00
Total	WSI= (0,50+0,42+0,83+1,00)/4						0,69

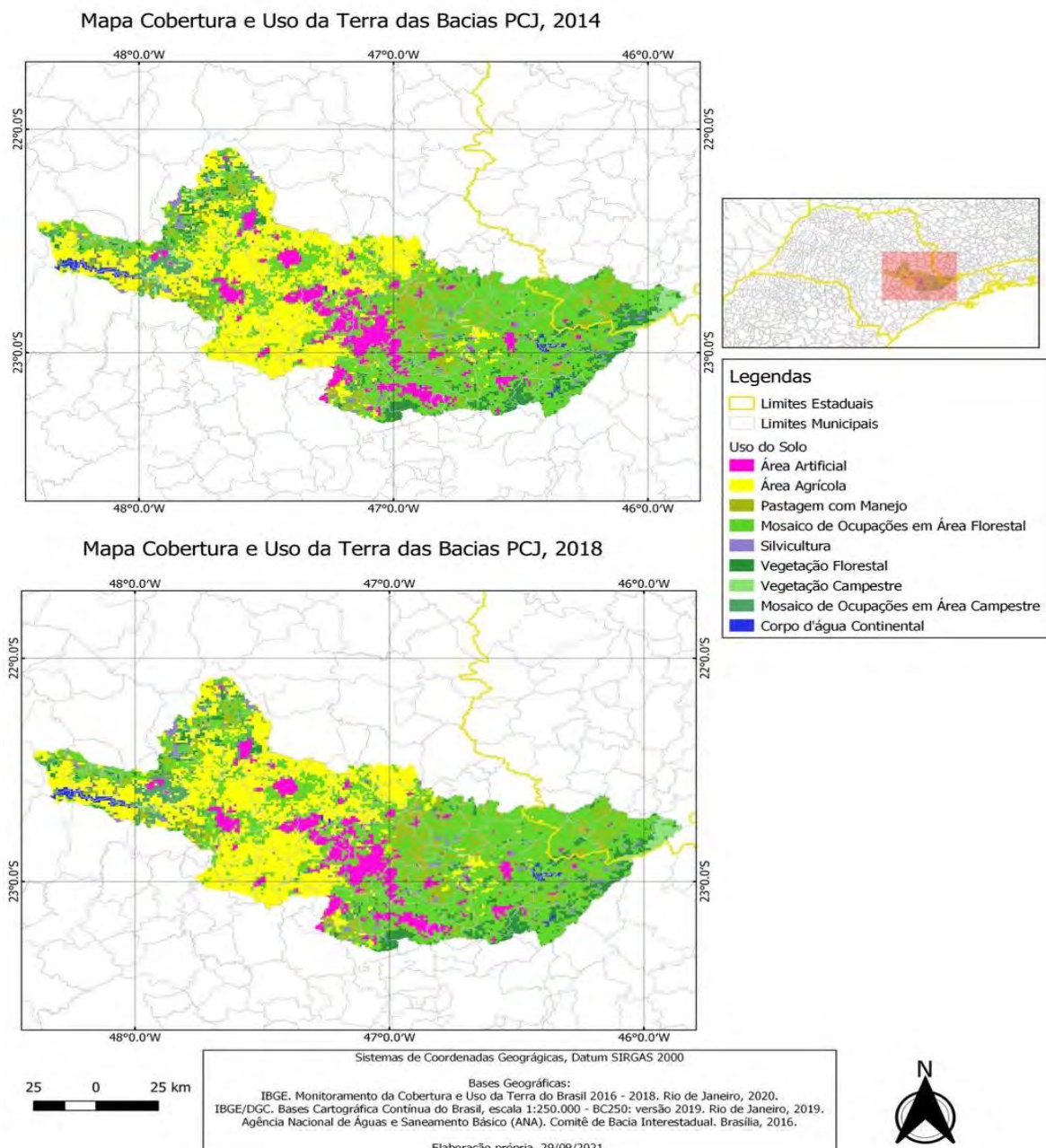
Na Figura 2 são apresentados os mapas de cobertura e uso do solo nas bacias PCJ nos anos de 2014 e 2018. Estes mapas foram utilizados para cálculo do EPI, obtenção da porcentagem de vegetação natural remanescente nas bacias e avaliação da evolução nas áreas protegidas. Todavia é importante ressaltar que o indicador evolução nas áreas protegidas pode



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

retornar uma pontuação baixa em locais que já possuem vastas áreas de conservação e uma agricultura com boas práticas de manejo e que não ampliaram essas áreas. Desta forma, um bom indicador para a dimensão ambiental deveria considerar além da extensão das áreas de conservação a qualidade dessas áreas, avaliando a presença de plano de manejo, a aplicação deste plano e a presença de um Conselho atuante, participativo e democrático.

Figura 2. Mapas de cobertura do solo dos anos de 2014 e 2018

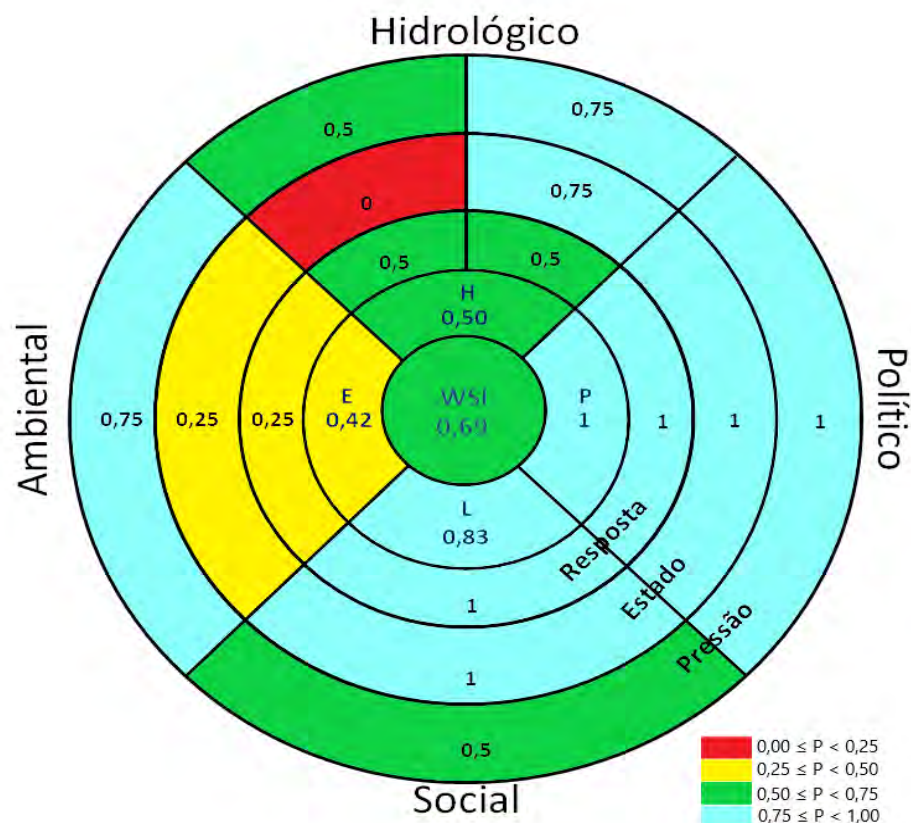




III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Na Figura 3 são apresentadas as pontuações de cada indicador segundo uma faixa de cor, sendo: azul, bom ($> 0,75$), verde, médio (entre 0,5 e 0,75), amarelo, ruim, (entre 0,25 e 0,5) e vermelho, péssimo ($< 0,25$).

Figura 3. Representação gráfica do índice de sustentabilidade da bacia do PCJ



Os indicadores mais críticos e que merecem destaque são os da dimensão ambiental, seguidos dos da dimensão hidrológica com relação à disponibilidade de água per capita nas bacias. As bacias do PCJ estão localizadas em uma área bastante urbanizada e com apenas 7,44% de vegetação natural remanescente, além disso, durante o período de 2014-2018 não foram criadas novas unidades de conservação na área da bacia, fazendo com que de modo geral a dimensão ambiental fosse classificada como ruim. Sendo assim, sugere-se aumentar as áreas com vegetação nativa, por meio de programas de recuperação florestal e monitoramento contínuo de áreas de preservação ambiental, além de programas que visem garantir a aplicação do Plano de Manejo nas unidades de conservação e a presença de Conselhos atuantes.

A dimensão hidrológica apresentou os piores valores com relação à disponibilidade hídrica, o que se deve aos baixos índices pluviométricos iniciados em 2013 e intensificados durante o verão de 2014 e de 2015 (Marengo & Alves, 2015), e que ainda tem efeitos preocupantes, como a disponibilidade de água *per capita* de 971,08 m³/hab/ano (Comitês PCJ,

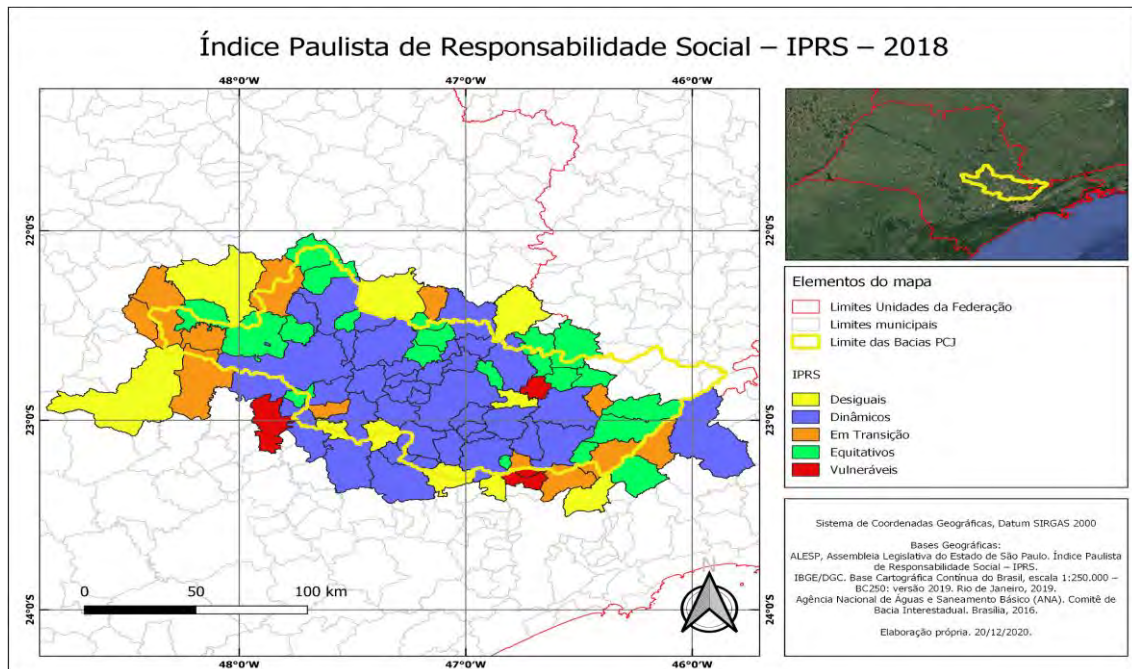


III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

2019). A situação é considerada crítica e contribui para o aumento da vulnerabilidade das Bacias PCJ que, com o aumento populacional estimado, somado às mudanças climáticas, aumenta o risco de desastre ambiental relacionado à seca. Além disso, os indicadores hidrológicos utilizados no presente trabalho não consideram os problemas relacionados à transposição de água. Já com relação à qualidade da água das bacias houve um aumento no índice de qualidade de água e ampliação da coleta e tratamento do efluente fazendo com que o indicador hidrológico tivesse uma pontuação geral mediana.

Os indicadores sociais e políticos apresentaram ótimos resultados. A dimensão política foi a que apresentou o melhor resultado, 1, seguida da dimensão social com 0,83. Tal resultado é devido ao aumento do IPRS, com a redução dos municípios vulneráveis e aumento do número de municípios dinâmicos (São Paulo, 2019). A Figura 4 apresenta o mapa com o respectivo IPRS de cada município da porção paulista das bacias PCJ. Todavia é importante ressaltar que alguns municípios, como Mairiporã, Mombuca e Pedra Bela apresentam baixa riqueza, baixa longevidade e baixa escolaridade, estando em situação vulnerável. Desta forma, mesmo que as dimensões políticas e sociais das bacias apresentem um bom resultado, isso não reflete a realidade de todos os municípios das bacias.

Figura 4. Mapa das Bacias PCJ e o respectivo IPRS dos municípios



As bacias PCJ apresentaram excelente capacidade legal e institucional em Gestão integrada de recursos hídricos, sendo realizada de modo descentralizado, integrado e participativo, com um comitê atuante, organizado e que está trabalhando para aumentar o nível do tratamento dos esgotos urbanos e para reduzir as perdas de água nas redes de distribuição. Além disso, há um bom planejamento econômico com um aumento de investimento financeiro de quase 100% de 2014 para 2018 (Comitês PCJ, 2019) e disponibilização de relatórios e dados



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

referentes à bacia. Desta forma, pode-se perceber um esforço institucional para a consolidação de grupo condutor das bacias. A organização, os planos de trabalhos, o detalhamento dos materiais disponíveis, os níveis de investimentos na bacia e o envolvimento de diversos *players* na constituição de grupo de trabalho para as bacias demonstram o esforço de apoio e desenvolvimento.

De modo geral as bacias PCJ apresentaram um índice de sustentabilidade mediano, valor próximo ao encontrado por Elfithri *et al.* (2018), que obtiveram um WSI de 0,68 para a bacia do rio Langat na Malásia. Na pesquisa de Chaves e Alipaz (2007) para a bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro (Brasil) o WSI final foi igual a 0,65, sendo classificado como nível intermediário em relação à sustentabilidade. Já Maynard *et al.* (2017) obtiveram um WSI final de 0,66 para a bacia do Rio Japarutuba em Sergipe. Todavia os desafios enfrentados por essas bacias se diferenciam das bacias PCJ, apresentando fragilidades com relação a gestão dos recursos hídricos e investimentos financeiros.

5. Conclusões

As bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá obtiveram um WSI global igual a 0,69, sendo classificada como nível médio em relação à sustentabilidade. Essas bacias requerem atenção prioritária nas dimensões hidrológicas e ambientais, em especial com relação à disponibilidade hídrica e preservação da vegetação natural. A disponibilidade hídrica nas bacias diminuiu no período estudado e os sistemas de tratamento de esgoto em muitos municípios inseridos nas bacias PCJ são deficitários. Sugere-se, então, a continuidade no investimento em tratamento de esgoto e um aumento no investimento em programas que visem aumentar áreas de vegetação e monitorar a qualidade das unidades de conservação. Desta forma, impactando tanto nos indicadores ambientais quanto hidrológicos. Por fim, sugere-se reavaliar as bacias PCJ no período de 2018-2022.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao professor Tadeu Fabrício Malheiros, a Universidade de São Paulo e todos os discentes e colaboradores da disciplina de Indicadores de Sustentabilidade.

7. Referências bibliográficas

Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, ALESP (2019). *Índice Paulista de Responsabilidade Social – IPRS : Metodologia*. Disponível em: <http://www.iprs.seade.gov.br/downloads/pdf/metodologia_do_iprs_2018.pdf>. Acesso em 03 dez. 2020.

Agência Nacional de Água e Saneamento, ANA (2019) *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual*. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>>. Acesso em 19 de out. 2020.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

- Agência Nacional de Águas, ANA (2004). *Indicadores de Qualidade*. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-introducao.aspx>>. Acesso em 27 de outubro de 2020.
- Batalhão, A.C.S.; Teixeira, D.; Martins, M. de F.; Van Bellen, H.M.; Caldana, A.C.F. (2019) Sustainability Indicators: Relevance, Public Policy Support and Challenges. *Journal of Management and Sustainability*, 9 (2), 173-190.
- Bond, A.; Morrison-Saunders, A.; Howitt, R. (2013) *Sustainability Assessment: Pluralism, Practice and Progress* (296 pp.) New York: Routledge.
- Chaves, H. M. L. & Alipaz, S. (2007) An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Live, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*, 21 (5), 883-895.
- Chaves, H. M. L. (2009) Avaliação integrada da sustentabilidade de quatro bacias hidrográficas latinoamericanas. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (12 p.) Campo Grande, MS.
- Comitês PCJ (2019) *Relatório de Situação de Recursos Hídricos: versão simplificada, ano base 2019*. Piracicaba (SP): Fundação Agência PCJ.
- Comitês PCJ (2020) *Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: 2020-2035, Relatório Final*. Piracicaba (SP): Consórcio Profill-Rhama.
- Chandniha, S.K.; Kansal, M.L.; Anvesh, G. (2014) Watershed Sustainability Index Assessment of a Watershed in Chhattisgarh, India. *Current World Environment*, 9 (2), 403-411.
- De Sherebinin, R. A., Levy, M., Johnson, L. (2013) *Indicators in Practice: How Environmental Indicators are Being Used in Policy and Management Contexts*. Yale and Columbia Universities, New Haven and New York.
- Elfithri, R.; Mokhtar, M.; Abdullah, M.P.; Taha, M.R.; Toriman, M.E.; Yasin, R.M.; Yaakub, J.; Khirotdin, P.K.; Sultan, M.M.A.; Ishak, S.A.; Ramzan, N.M.; Kamarudin, M.K.A. (2018) Watershed Sustainability Index for Langat UNESCO HELP River Basin, Malaysia. International. *Journal of Engineering & Technology*, 7, 187-190.
- European Commission (2015) *Good Practices on Leakage Management - EU Reference Document* (164 pp.).
- Fernandes, L. C. S. (2015) Breve panorama da escassez de água nas bacias hidrográficas do Alto Tietê e do PCJ. *Labor E Engenharia*, 9 (4), 51-65.
- Ferreira, S.C.G.; Lima, A.M.M. de; Corrêa, J.A.M. (2020) Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA) – Eastern Amazonia. *Journal of Environmental Management*, 263, 1-10.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., (2017) The Circular Economy e a new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.

Gibson, R.B. (2006) Beyond the Pillars: Sustainability Assessment as a Framework for Effective Integrations of Social, Economic and Ecological Considerations in Significant Decision-Making. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 8, 259–280.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: IBGE (2010). Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: IBGE (2020). Monitoramento da cobertura e uso da Terra do Brasil: 2016-2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020

Marengo, J. A. & Alves, L. M. (2015). Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *Geosp: Espaço e Tempo*, 19 (3), 485-494.

Maynard, I.F.N.; Cruz, M.A.S.; Gomes, L.J. (2017) Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe. *Ambiente & Sociedade*, 20 (2), 207-226.

Mititelu-Ionus, O. (2017) Watershed Sustainability Index Development and Application: Case Study of the Motru River in Romania. *Polish Journal Environmental Studies*, 26 (5), 2095-2105

Mondal, B.; Loganandhan, N.; Patil, S.L.; Raizada, A.; Kumar, S.; Bagdi, G.L. (2020) Institutional performance and participatory paradigms: Comparing two groups of watersheds in semi-arid region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 8 (2), 164-172.

OECD (2003). OECD Environmental Indicators: Development, measurement and use. Reference paper, Paris, 50 p.

ONU – Organização das Nações Unidas (2013). Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief.. Disponível em: < <https://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

Pope, J., Bond, A., Hugé, J., Morrison-Saunders, A. A. (2017) Reconceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 205–215.

Ramos, T. B. (2019) Sustainability Assessment: Exploring the Frontiers and Paradigms of Indicator Approaches. *Sustainability*, 11 (3), 824-838.

Roboredo, D.; Bergamasco, S. M.P.P.; Bleich, M.E. (2016) Aggregate index of social–environmental sustainability to evaluate the social–environmental quality in a watershed in the Southern Amazon. *Ecological Indicators*, 63, 337-345.

Rogmans, T., & Ghunaim, (2016) M. A framework of evaluating sustainability indicators in the real estate industry. *Ecological Indicators*, 66, 603–611.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

São Paulo (2019) Índice Paulista de Responsabilidade Social – IPRS 2014-2018. Disponível em : < http://www.iprs.seade.gov.br/downloads/pdf/iprs_release_site.pdf> Acesso em: 22 nov. 2020.

Silva, D.D.C.; Chaves, H.M. L; Curi, W.F.; Baracuhy, J.G.V.; Cunha, T.P.S. (2020) Application of the watershed sustainability index in the Piranhas-Açu watershed. *Water Policy*, 22 (4), 622–640.

Trata Brasil. (2017) As perdas de água nos sistemas de distribuição como agravante à vulnerabilidade das bacias hidrográficas. Produto 4- Estudo Final Versão Executiva Bacias PCJ. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/bacias-pcj/sumario-executivo.pdf>>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO (2012) *Managing Water Under Uncertainty And Risk*. The United Nations World Water Development Report 4. vol 1. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215644>> . Acesso em 08 dez.2020.