

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA BRASILEIRA COSTEIRA DO BAIXO PIRANHAS A PARTIR DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Danilo COSTA E SILVA¹; Gesinaldo CANDIDO²; José BARACUHY³; Henrique
CHAVES⁴

RESUMO

No mundo atual a gestão das regiões costeiras de países em desenvolvimento tem sido marcada, por vezes, por equívocos culminando em um cenário cada vez mais passível de preocupação em termos de sustentabilidade. No Brasil tal situação tem se ampliado uma vez que equívocos históricos em termos de planejamento têm marcado as políticas públicas de tal forma, que aliado às particularidades físicas locais, o semiárido brasileiro tem sido considerado por alguns como o semiárido mais problemático do mundo. Com vias a contribuir como a mitigação desta situação, em anos recentes, indicadores voltados para análise de sustentabilidade tem tido sucesso em termos de aplicação em diversas áreas relativas aos recursos naturais, persistindo, contudo, uma carência de aplicação em termos de recursos hídricos. Com vistas a compor esta lacuna recentemente foi desenvolvido um índice de sustentabilidade voltado especificamente para os recursos hídricos, conhecido como índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (*Watershed Sustainability Index* - WSI). O índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas é formado por quatro conjunto de indicadores principais que contemplam os aspectos hidrológicos, ambientais, sociais e políticos (*hydrology, environment, life e policy*, formando o acrostico HELP) e tem como base o modelo pressão-estado-resposta (PER). Embora tal índice já venha sendo aplicado com sucesso em algumas bacias hidrográficas ao redor do mundo, há uma carência de aplicação do índice tanto na análise de bacias costeiras quanto na análise de bacias localizadas em ambientes semiáridos. O presente artigo apresenta a aplicação pioneira do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas em uma sub-bacia hidrográfica costeira localizada no semiárido brasileiro, parte do baixo curso da bacia Piancó-Piranhas-Assu, conhecida como sub-bacia do Baixo Piranhas, no período de 2006 a 2010. A metodologia se mostrou eficaz na análise da unidade costeira e os resultados classificados no escore de 0,531 apresentam a necessidade de intervenção a partir da introdução de medidas mitigadoras.

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário CEP: 58429-140, Campina Grande, Brasil, daniloduarte777@yahoo.com.br, +5584996582827.

² Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário CEP: 58429-140, Campina Grande, Brasil, gacandido@uol.com.br, +55 8321011000.

³ Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário CEP: 58429-140, Campina Grande, Brasil, geraldobaracuh@yahoo.com.br, +55 8321011000.

⁴ Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - DF, CEP: 70910-900, hchaves@unb.br, +556131073300.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; gestão de recursos hídricos; indicadores de sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A gestão das regiões costeiras de países em desenvolvimento tem sido marcada, por vezes, por equívocos em termos de planeamento culminando em um cenário cada vez mais passível de preocupação (Brown e Tompkins, 2012; Viles e Spencer, 2014; Asmus *et al.*, 2006; Nicholls e Cazenave, 2010). De acordo com Brown e Tompkins (2012) embora tais regiões seja uma das regiões mais produtivas, mais adensadas e com os ecossistemas mais ricos da terra, contudo há toda uma problemática enfrentada, desde a exposição a catástrofes naturais (como maremotos) até a poluição potencializada pela alta densidade populacional e isto, em países em desenvolvimento, coloca tais regiões costeiras em uma preocupante situação. Na busca por solucionar os dilemas desta região Brown e Tompkins (2012) destacam a necessidade de um planeamento que leve em consideração um olhar amplo enfocando os mais diversos aspectos interdisciplinares do problema, com vistas a de fato promover o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, em termos de recursos hídricos, a sustentabilidade tem sido discutida por diversos autores (Greick, 1998; Postel, 2000; Loucks, 2000; Mays, 2007; Tucci, 2000; Tundisi, 2003; Vieira, 2003) com vistas a buscar seus limites e características. De acordo com Gleick (1998) água não é apenas essencial para sustentar a vida, mas também desempenha um papel fundamental no apoio aos ecossistemas, no desenvolvimento econômico, no bem-estar da comunidade, e nos valores culturais. Um ponto de partida então para se buscar entender esta relação é a própria definição de sustentabilidade hídrica e neste sentido alguns autores têm desenvolvido definições que tem contemplado esta relação (Mays, 2007; Gleick *et al.*, 1995; Loucks, 2000).

Para Mays (2007) sustentabilidade hídrica⁵ é “a habilidade para prover e manejar a água em termos de quantidade e qualidade e da mesma forma a encontrar as necessidades humanas e ambientais atuais, enquanto não impede as futuras gerações de fazer o mesmo”. Loucks (2000) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “a designação e planeamento dos recursos hídricos com vistas a contribuir completamente com os objetivos da sociedade agora e no futuro, enquanto mantem sua integridade ecológica, ambiental e hidrológica”. Já o Gleick *et al.*, (1995) conceitua como “o uso de água para suporte e habilidade da sociedade humana para fortalecer e florescer em um futuro indefinido sem prejudicar a integridade do ciclo hidrológico ou do sistema ecológico que depende dele”. Vieira (2003) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “o atendimento continuado e consistente das demandas da sociedade através de uma oferta hídrica garantida, em quantidade e qualidade”.

Com vistas a mensurar a sustentabilidade hídrica, em época recente, Chaves e Alipaz (2007) desenvolveram o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (*Watershed Sustainability Index - WSI*), uma vez que havia uma carência de indicadores que contemplassem especificamente a sustentabilidade dos recursos hídricos. Nestes termos, embora tal índice já venha sendo aplicado com sucesso em algumas bacias hidrográficas ao redor do mundo, há uma carência de aplicação do índice tanto na análise de bacias

⁵ water resources sustainability

costeiras, quanto nas bacias localizadas em ambientes semiáridos. No Brasil para além da problemática de gestão as bacias costeiras inerente as bacias hidrográficas (Ab'Sáber, 2003) percebe-se que as bacias localizadas no semiárido brasileiro são ainda mais atingidas pelos problemas de gestão uma vez que o semiárido brasileiro é considerado por alguns o mais problemático do mundo (Cirilo, 2008). O presente artigo vem de forma pioneira propor a aplicação do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI) (Chavez e Alipaz, 2007) na sub-bacia hidrográfica costeira do Baixo Piranhas, localizada no semiárido brasileiro, a partir da análise do período de 2006 a 2010.

2. METODOLOGIA

2.1 Sub-bacia hidrográfica do Baixo Piranhas

A sub-bacia hidrográfica selecionada para análise está localizada (conforme figura a seguir) na região nordeste do Brasil e é ao mesmo tempo sub-bacia hidrográfica costeira e de clima semiárido.

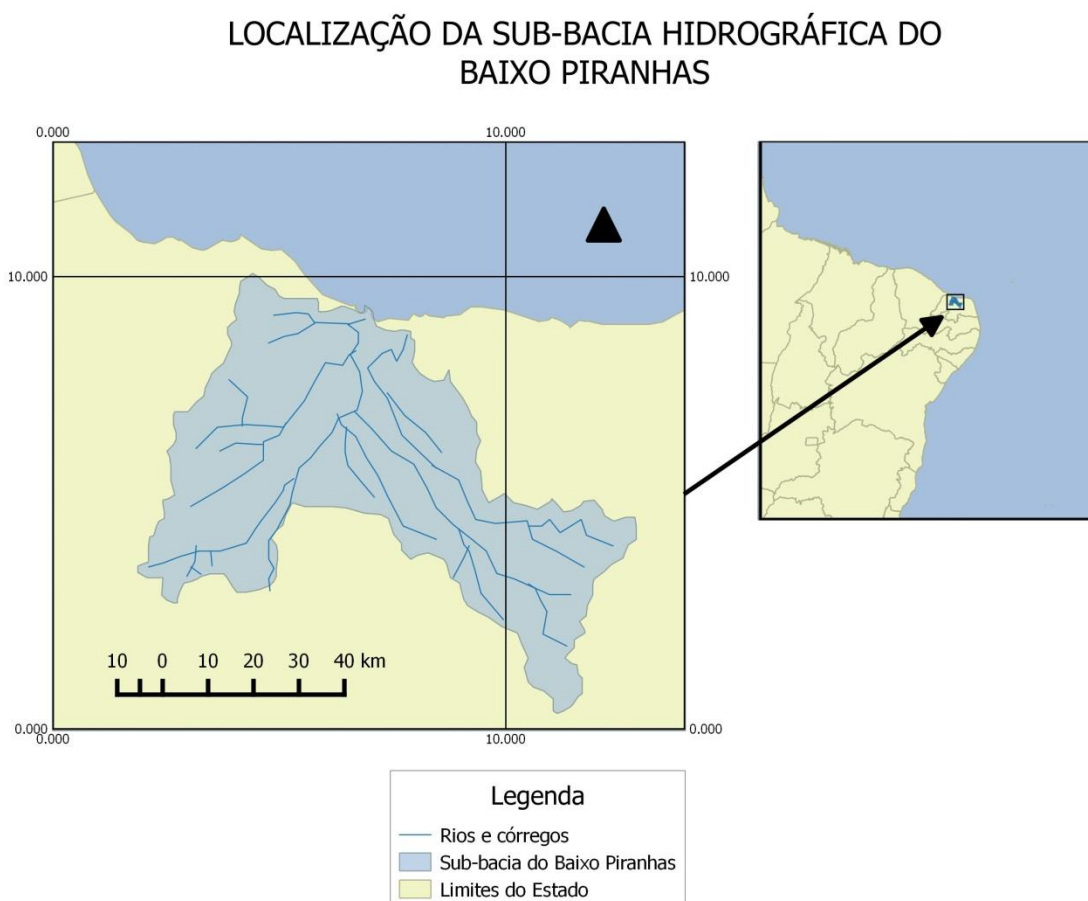


Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica costeira do Baixo Piranhas (fonte: próprio autor)

De acordo com Agência Nacional de Águas (2014) a sub-bacia hidrográfica do Baixo Piranhas faz parte da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu e tem como área total 3.668 km². Nesta sub-bacia estão as cidades de Pependencias, Afonso Bezerra, Carnaubais, Macau, Pedro Avelino, Porto do Mangue. Tendo uma população total de 75380 habitantes. A vazão média do rio próximo ao seu exutório é de 12,65 m³/s (Agência Nacional de Águas A, 2012). A demanda bioquímica de oxigênio (5 dia) da sub-bacia é de 12,96 mg/L (Agência Nacional de Águas, 2012). A sub-bacia do Baixo Piranhas possui uma área de vegetação nativa de cerca de 65% (conforme figura a seguir). Nestes termos, o WSI desta bacia foi avaliado no período compreendido entre 2006 e 2010.

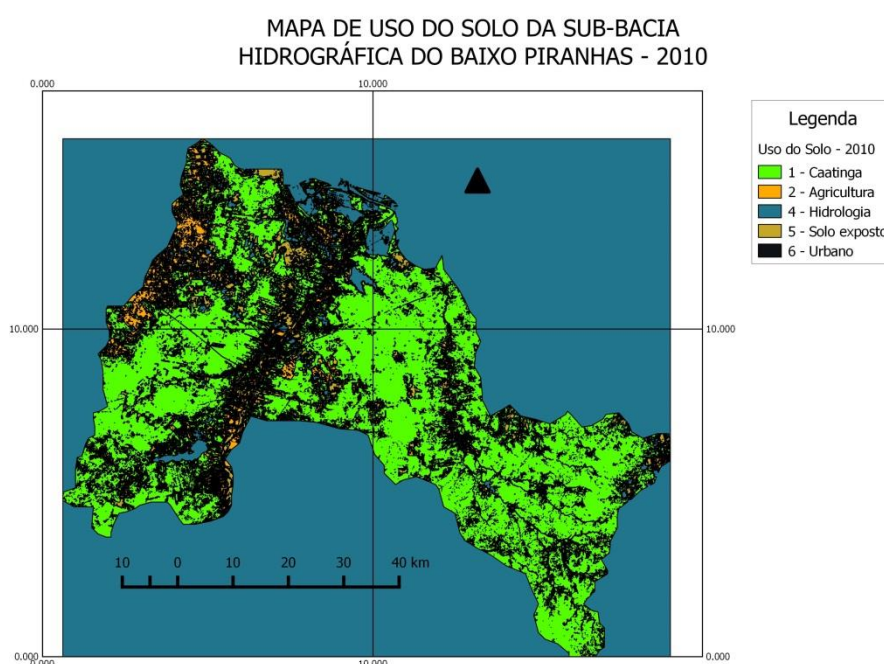


Figura 2. Mapa de uso do solo (fonte: próprio autor)

2.2 Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI – *Watershed Sustainability Index*)

O Índice de Sustentabilidade de Bacias - WSI (Chaves e Alipaz, 2007) foi desenvolvido atendendo aos seguintes critérios: i) estrutura simples e aplicação universal; ii) incorporar relações causa-efeito, facilitando seu entendimento e aplicação; iii) parâmetros preferencialmente quantitativos e de fácil obtenção; iv) incorporar os efeitos de variabilidade ou mudança climática; v) matematicamente robusto. Nesse sentido, a sustentabilidade das bacias hidrográficas é dada pela seguinte equação (Chaves e Alipaz, 2007):

$$\text{WSI} = (\text{H} + \text{E} + \text{L} + \text{P}) / 4 \quad [1]$$

Onde: WSI (0-1) é o índice de sustentabilidade da bacia; H (0-1) é o indicador de hidrologia; E (0-1) é o indicador de meio ambiente; L (0-1) é o indicador de vida humana; e P (0-1) é o indicador de políticas públicas. Vale ressaltar que todos os indicadores do WSI têm o mesmo peso, uma vez que desconhece qual é a relativa importância de cada um deles para a sustentabilidade.

Além dos quatro indicadores acima, o WSI usa o conceito de Pressão-Estado-Resposta, captando, assim, a dinâmica do processo de gestão. Nesse caso, não apenas o “estado” atual da bacia é indicador de sua sustentabilidade, mas também as pressões a que ela é submetida, além as respostas resultantes. Para tanto o WSI se utiliza de dados secundários, permitindo assim a comparação com outros períodos.

O WSI é obtido através de uma planilha, onde as linhas são os indicadores e as colunas representam a pressão, o estado, e a resposta (Tabela 1).

Tabela 1. Matriz de indicadores e PSR para o cálculo do WSI.

	Pressão	Estado	Resposta
Indicadores	Parametros		
Hidrologia (H)	-Variação da disponibilidade hídrica percapita nos últimos cinco anos; -Variação na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) nos últimos cinco anos	-Disponibilidade hídrica percapita; -Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) média (longo prazo)	- Melhorias na eficiência no uso da água no período; - Melhorias no tratamento de esgoto no período
Meio ambiente (E)	-Indicador de pressão ambiental (EPI, Environmental Pressure Indicator) da bacia	-Porcentagem da bacia com vegetação natural Índice de desenvolvimento humano da bacia (IDH) ponderado por área municipal	- Evolução em termos de conservação da bacia (reservas, boas práticas de manejo)
Vida (L)	Variação do índice de desenvolvimento humano da bacia (IDH) nos últimos 5 anos	Índice de desenvolvimento humano da bacia – IDH	Evolução no índice de desenvolvimento humano da bacia no período

Política (P)	Varição no índice de desenvolvimento humano, no quesito educação (IDH- educação)	Capacidade legal e institucional em termos de Gestão Integrada da Bacia	Evolução dos gastos da gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH) no período
Nota: WSI – Índice de sustentabilidade de bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de desenvolvimento humano; GIRH – Gestão integrada de recursos hídricos.			

Para facilitar o entendimento do cálculo do WSI, as três colunas da Tabela 1 estão detalhadas a seguir, correspondendo aos indicadores de pressão, estado, e resposta (Tabela 2), respectivamente.

Tabela 2. Parâmetros de Pressão-Estado-Resposta do WSI.

P-E-R	Indicador	Parâmetro	Nível	Escore	
PRESSÃO	H (hidrologia)	$\Delta 1$ – variação de disponibilidade de água per capita, no período ($m^3/hab./ano$)	$\Delta 1 < -20\%$	0,00	
			$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0,25	
			$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0,50	
			$0 < \Delta 1 < +10\%$	0,75	
			$\Delta 1 > +10\%$	1,00	
			$\Delta 2$ – variação de DBO5 da bacia no período (média)	$\Delta 2 > 20\%$	0,00
				$20\% > \Delta 2 > 10\%$	0,25
				$0 < \Delta 2 < 10\%$	0,50
				$-10\% < \Delta 2 < 0$	0,75
$\Delta 2 < -10\%$	1,00				
E (ambiente)	EPI da bacia no período	$EPI > 20\%$	0,00		
		$20\% > EPI > 10\%$	0,25		
		$10\% < EPI < 5\%$	0,50		
		$5\% < EPI < 0\%$	0,75		
		$EPI < 0\%$	1,00		
L (vida)	Variação no produto interno bruto (PIB – per capita) da bacia no período	$\Delta < -20\%$	0,00		
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25		
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50		
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75		
		$\Delta > 10\%$	1,00		

	P (políticas)	Variação do índice de desenvolvimento humano-educação no período	$\Delta < -20\%$ $-20\% < \Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < 10\%$ $\Delta > 10\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
ESTADO	H (hidrologia)	Wa – disponibilidade per capita de água na bacia (superficial + subterrânea) em m ³ /hab./ano DBO5 – média da DBO5 da bacia (longo prazo), em mg/L.	Wa < 1700 1700 < Wa < 3400 3400 < Wa < 5100 5100 < Wa < 6800 Wa < 6800 DBO > 10 10 > DBO > 5 5 > DBO > 3 3 > DBO > 1 DBO < 1	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00 0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	E (ambiente)	Porcentagem de vegetação natural remanescente na bacia (Av)	Av < 5 5 < Av < 10 10 < Av < 25 25 < Av < 40 Av > 40	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	L (vida)	IDH ponderado da bacia	IDH < 0,5 0,5 < IDH < 0,6 0,6 < IDH < 0,75 0,75 < IDH < 0,9 IDH < 0,9	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
	P (políticas)	Capacidade legal e institucional em GIRH na bacia	Muito pobre Pobre Regular Boa Excelente	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
		H (hidrologia)	Evolução na eficiência de uso de água na bacia, no período	Muito pobre Pobre Regular Boa
RESPOSTA				

		Evolução no tratamento e disposição de esgotos na bacia, no período	Excelente Muito pobre Pobre Regular Boa Excelente	1,00 0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
E (ambiente)		Evolução nas áreas protegidas (reservas e boas práticas de manejo – BPMs) na bacia no período	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
L (vida)		Varição no IDH da bacia, no período (ponderado)	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00
P (políticas)		Evolução nos gastos em GIRH na bacia, no período.	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0,00 0,25 0,50 0,75 1,00

Nota: WSI – Índice de sustentabilidade de bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de desenvolvimento humano; GIRH – Gestão integrada de recursos hídricos.

O EPI da Tabela acima, o indicador de pressão ambiental, é dado pela seguinte equação:

$$\mathbf{EPI = (\%Va + \%Vu) / 2} \quad \mathbf{[2]}$$

Onde: %Va = percentual de variação de áreas agrícolas na bacia no período estudado; %Vu = percentual de variação de áreas urbanas na bacia, no período estudado. O valor de EPI pode ser positivo (aumento do impacto ambiental) ou negativo (diminuição do impacto).

A evolução em áreas protegidas e em áreas com boas práticas de manejo (BPM) representa a variação percentual em termos de área, semelhantemente ao EPI (Equação 2). Conforme as Tabelas acima, o indicador de Hidrologia tem 2 conjuntos de parâmetros: quantidade (Hidro-Quant) e qualidade (Hidro-quali).

Uma vez selecionados os níveis e os escores para cada um dos parâmetros da Tabela 2 o WSI é calculado através da média global (média das colunas P,E,R e linhas H,E,L,P). O

resultado do WSI para a bacia é classificado semelhantemente ao valor do índice de desenvolvimento humano - IDH (Tabela a seguir):

Tabela 3. Classificação do Watershed Sustainability Index– WSI (de acordo com resultado da equação 1)

Faixa	WSI<0,5	0,5<WSI<0,8	WSI>0,8
Classificação	Baixo	Médio	Alto

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez levantadas as informações relativas aos indicadores de Hidrologia (H), Ambiente (E), Vida Humana (L) e Políticas Públicas (P) para a sub-bacia, os valores correspondente a célula da Tabela 5 foram preenchidos, e o WSI global foi calculado. Neste sentido, conforme já mencionado, o WSI se utiliza de dados secundários. A tabela a seguir apresenta a fonte dos dados coletados para composição do índice para a sub-bacia do Baixo Piranhas.

Tabela 4. Fonte de dados para composição do índice WSI

Indicador	Fonte
Hidrologia quantidade	Agência Nacional das Aguas ⁶
Hidrologia qualidade	Agência Nacional das Aguas ⁷
Ambiente	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ⁸
Vida	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ⁹
Política	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ¹⁰

A tabela a seguir, por sua vez, apresenta o detalhamento da aplicação dos dados para cálculo do *Watershed Sustainability Index* na sub-bacia hidrográfica do Baixo Piranhas.

⁶ Agência Nacional de Águas (2012). Hidroweb. <http://hidroweb.ana.gov.br>. (Acesso em 15 de março de 2015).

⁷ Idem anterior.

⁸ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015) . http://www.dgi.inpe.br/CDSR/first_EN.php. (Acesso em 17 de março de 2015).

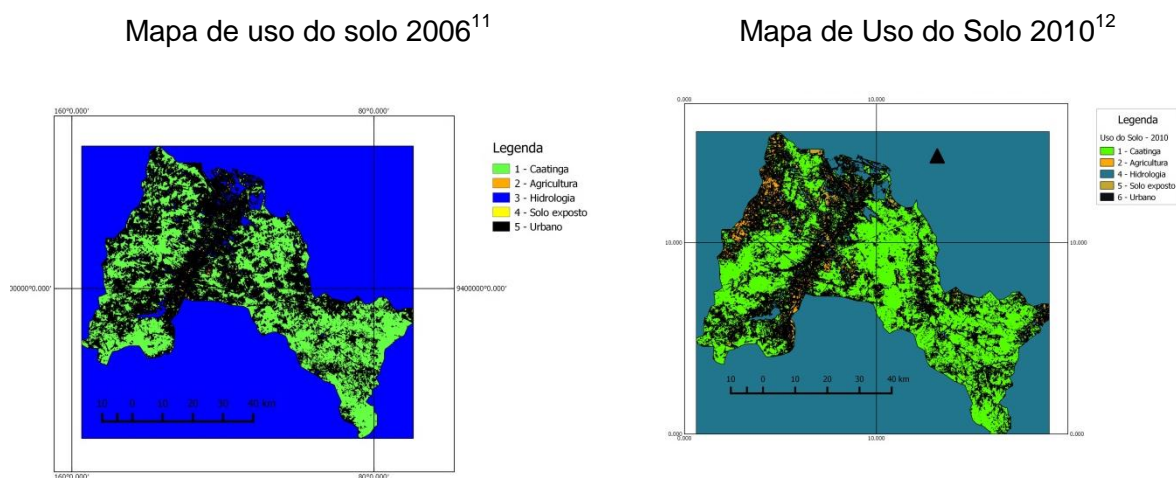
⁹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. (Acesso em 18 de março de 2015).

¹⁰ Idem anterior.

Tabela 5. Resultados da aplicação do WSI na sub-bacia hidrográfica do Baixo Piranhas

P-E-R	INDICADORES	VALORES	SCORE
Pressão	Hidrologia quantidade	17.43%	0.5
	Hidrologia qualidade	-35%	0
	Ambiente	3%	0.75
	Vida	19.96%	1
	Política	39.99%	1
Estado	Hidrologia quantidade	5292 (Q _{máx} /m ³)	0.75
	Hidrologia qualidade	12,96 ml	0
	Ambiente	65%	1
	Vida	0.607	0.5
	Política	Muito Pobre	0
Resposta	Hidrologia quantidade	Muito pobre	0
	Hidrologia qualidade	Muito pobre	0
	Ambiente	0	0
	Vida	21.77%	1
	Política	0	0.25
Valor do WSI global (H+E+L+P/4)			0,531

De forma geral a evolução na qualidade de vida da bacia culminou em uma considerável contribuição para que o índice final fosse classificado em um patamar de média sustentabilidade.

Figura 3. Evolução no Uso do Solo 2006 – 2010

Em relação ao uso do solo, percebe-se que o percentual de 40% (base do índice) é extrapolado e neste sentido a bacia ainda é consideravelmente composta por vegetação nativa. Em relação a comparação com o ano de 2006 percebe-se um aumento sensível da área agrícola, o que gerou uma alteração de cerca de 3% no valor final de pressão do indicador.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo foram as seguintes:

- A sub-bacia hidrográfica do Baixo Piranhas teve um valor de WSI de 0,531 considerado médio em termos de sustentabilidade.
- Os indicadores que contribuíram para a redução da sustentabilidade nas bacia foram o de Hidrologia (estado, qualidade da água), Política e Hidrologia (resposta). Gerando assim a necessidade de mitigação através de melhoramentos no tratamento da água e medidas de gestão de recursos hídricos.
- A oferta de água abundante, vegetação original remanescente acima de 40%, consideráveis melhoras na qualidade de vida, foram os parâmetros que mais contribuíram positivamente para o WSI mediano.

¹¹ Elaborada a partir da imagem de satélite LANDSAT 5 de 18/09/2006 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015).

¹² Elaborada a partir da imagem de satélite LANDSAT 5 de 25/06/2010 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Sáber A. N. (2003). Litoral do Brasil. Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, 45 (1), 28-28.

Agência Nacional de Águas (2012). Hidroweb. <http://hidroweb.ana.gov.br>. (Acesso em 15 de março de 2015).

Agência Nacional de Águas (2014). Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu. Brasília, Brasil.

Asmus M. L., Kitzmann D., Laydner C., Tagliani C. R. A. (2006). Gestão Costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades. Revista de Gestão Costeira Integrada 5, 52-57.

Brown K., Tompkins E. L. (2012). Making waves: integrating coastal conservation and development. Routledge.

Cirilo J. A. (2008). Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. Estudos Avançados, 22(63), 61-82.

Chaves H. M., Alipaz S. (2007). An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. Water Resources Management, 21(5), 883-895.

Gleick P. H. (1998). Water in crisis: paths to sustainable water use. Ecological applications 8, 571-579.

Gleick P.H., Loh P., Gomez P., Morrison S. (1995). California water 2020: a sustainable vision. Pacific institute for studies in development, environment, and security. Oakland, United States of America.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. (Acesso em 18 de março de 2015).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015). http://www.dgi.inpe.br/CDSR/first_EN.php. (Acesso em 17 de março de 2015).

Loucks D. P. (2000). Sustainable water resources management. Water international, 25 (1), 3-10.

Mays L. W. (ed) (2007). Water resources sustainability. McGraw-hill, New York, United States of America.

Nicholls R. J., Cazenave A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. science, 328 (5985), 1517-1520.

Postel S. I. (2000). Entering an era of water scarcity: The Challenges Ahead. Ecological Applications 10 (4), 941-948.

Tundisi J. G. (2003). Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima. São Carlos, Brasil.

Tucci C. E. M. (2000). Desafios em recursos hídricos in: Philippi jr A., Tucci C.E.M.; Hogan D.J., Navegantes R. Interdisciplinaridade em ciências ambientais. Signus Editora. São Paulo, Brasil.

Viles H., Spencer T. (2014). Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast. Routledge.

Vieira V. (2003). Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semiárido. Revista Brasileira De Recursos Hídricos. 8 (2), 7-17.