

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA URBANA: O CASO DE SANTA CATARINA

URBAN WATER SUSTAINABILITY: THE CASE OF SANTA CATARINA

Submissão 26/03/2018

Revisão: 12/11/2018

Aceite: 29/12/2018

Marcelo Pedroso Curtarelli
Carlos Eduardo M. Tucci
Vinicius Ragghianti
Vitor Guimarães

RESUMO:

A sustentabilidade hídrica e ambiental urbana é um dos grandes desafios da gestão de recursos hídricos. O ciclo hidrológico é fortemente alterado pela urbanização, produzindo impactos como inundações, contaminação do ar, do solo, rios e aquíferos, devido a forte concentração de população com grande demanda de água, energia, transporte e comunicação e produzindo diferentes tipos de efluentes. Os serviços de água na cidade são o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem urbana e resíduos sólidos dentro de metas ambientais que busque a sustentabilidade do homem e do ambiente. O principal problema ambiental brasileiro no contexto urbano envolve o limitado serviço de coleta e tratamento de esgoto das cidades brasileiras. Tucci (2017) apresentou dois indicadores para avaliar a sustentabilidade urbana relacionada com o esgotamento sanitário, mostrando como estes limitados serviços influenciam o ambiente junto as cidades e sua área de influência. Neste artigo são apresentados os resultados destes indicadores para o estado de Santa Catarina, utilizados no diagnóstico do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. Os resultados mostram os indicadores em função dos serviços atuais e apresentado um Plano de Investimentos para melhorar os serviços e os indicadores para os próximos 25 anos. Nos primeiros 15 anos foram previstos investimentos de 2,3% do PIB resultando em redução do indicador e dos impactos em 57%. Na sequência de uma fase de mais 5 anos com investimentos anuais da ordem de R\$ 63 milhões (0,02% do PIB) o indicador é reduzido para 60% com relação ao cenário atual e nos últimos cinco anos com 0,24% do PIB de investimento ao ano se obtém uma redução para 73% do Indicador no cenário atual.

Palavras chave: /sustentabilidade hídrica/ vazão/ esgoto sanitário/

ABSTRACT:

Water and environmental urban sustainability is one of the major challenges in water resources management. Hydrologic Cycle is impacted by urbanization, resulting in floods, air, soil, rivers and aquifers polluted due to high human concentration and great water, energy, transport and communication demand which results in many pollution sources. Water services in the cities are water supply, sanitation, stormwater, solids management with goals to achieve human and environment sustainability. The main environmental issue in Brazil in the urban areas is the lack of services on sanitation for Brazilian cities. Tucci (2017) presented two indicators to evaluate the urban sustainability related to sanitation, showing that these services impact the environment nearby the cities. This article presents the results of these indicators for the State of Santa Catarina using the Water Resource State Plan outputs. The results show the indicators in function of existing water and sanitation services and there were presented Plan of Investments in order to improve the services and indicators for the next 25 years.

Key-words: /water sustainability/flow/sewage/

GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão de recursos hídricos disciplina o uso eficiente e sustentável da água (com base no instrumento da outorga), a qualidade da água dentro de padrões adequados (com o uso do instrumento de enquadramento) e o aumento da resiliência aos eventos extremos (visando a segurança hídrica). Estes aspectos envolvem os objetivos da legislação de recursos hídricos no Brasil (lei 9.433/1997) e de muitos países. Para atingir estes objetivos é necessária a construção de um gerenciamento adequado baseado na governança. Pahl-Wostl (2009) destacaram que o gerenciamento (*management*) envolvem as ações para manter os limites de uso da água, da sua qualidade e segurança. A governança (*governance*) é a complexa relação de diferentes níveis de instituições para tomada de decisão.

No Brasil este processo tem evoluído desde 1997, quando foi aprovada a legislação de recursos hídricos, mas tem apresentado algumas fragilidades relacionadas com a falta de sustentabilidade de governança, econômica, metodologia e ambiental. Os planos de recursos hídricos têm apresentado conteúdo de diagnóstico e pouco conteúdo sobre ações efetivas com metas e investimentos, com indicadores de resultados, dentro dos três grandes grupos de ações mencionados acima. Isto é resultado da falta de recursos financeiros, de indicadores apropriados para os objetivos da gestão da água do país e ações definidas para a busca de atender metas de sustentabilidade hídrica.

INDICADORES

Os indicadores são utilizados para sintetizar o comportamento de um sistema e permitir sua avaliação. Um indicador pode ser definido como uma definição simplificada do mundo real (FEKETE; STAKHIV, 2014). Existem indicadores simples que permitem uma observação ou indicadores compostos que combinam vários outros indicadores.

Hooper (2006) propôs um conjunto de indicadores para gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas visando a aplicação na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). O autor selecionou 115 indicadores para organizações de bacias dentro dos seguintes grupos:

tomada de decisão coordenada; tomada de decisão relacionada com respostas; metas, mudança de meta e finalização de metas; sustentabilidade financeira; projeto de organização; legislação; treinamento; informação e pesquisa.

Fekete e Stakhiv (2014) mostram que existem indicadores de contexto, indicadores de função, indicadores de governança e indicadores de resultados (*performance*). Os indicadores de contexto retratam, no caso da água, o contexto natural como a disponibilidade hídrica, precipitação, entre outros. Os indicadores de função relacionam entrada e saída, como taxa de uso da água, tratamento de esgoto. Os indicadores de governança analisam diferentes níveis de eficiência, pelo uso de políticas, programas e regulações. Os indicadores de eficiência ou resultado sintetizam o uso dos outros três indicadores para obter resultados para um setor específico, dentro de seus objetivos. Por exemplo, produtividade da água (*water productivity*) é a proporção do resultado econômico do uso da água em determinado setores.

ÁGUAS URBANAS

O desenvolvimento urbano necessita de água para abastecimento da população (abastecimento), de esgotamento da água utilizada, tratamento e disposição na natureza (esgotamento sanitário), da drenagem da água de chuva que precipita sobre a cidade e seu controle de quantidade e qualidade (drenagem urbana), gestão dos sólidos, resultado dos sedimentos erodidos pela chuva e os resíduos produzidos pela população (resíduos sólidos). A gestão integrada destes serviços (águas urbanas) com o objetivo de atender a sustentabilidade da população e do ambiente é chamado de Gestão Integrada de Águas Urbanas (GIAU) (TUCCI, 2009). O ciclo de contaminação nas cidades é produzido quando o esgoto não é tratado, a poluição da drenagem não é controlada, produzindo erosão e contaminação juntamente com os sólidos. Esta poluição contamina as fontes de água que perde disponibilidade hídrica por qualidade da água. Este é um problema de quase todas as cidades brasileiras. O principal fator deste problema tem sido a falta de tratamento de esgotamento sanitário.

Indicadores de abastecimento de água e esgotamento sanitário

Os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário são fundamentais para atendimento da disponibilidade hídrica das áreas urbanas e o controle de seus efluentes. A realidade brasileira e de vários países em desenvolvimento tem sido de atendimento quase total para abastecimento de água e precário para esgotamento sanitário. Alguns dos indicadores destes serviços em nível brasileiro são sintetizados pelos indicadores da Tabela 1.

Observam-se destes dados, que existe baixa eficiência no sistema de abastecimento com perdas (físicas e de faturamento) de 36,7%. A vazão consuntiva de abastecimento de água é cerca de 20 a 25% da demanda, ou seja, 32,4 L/hab./dia (20%). O restante retorna para a bacia (numa grande proporção poluída). O total de esgoto coletado e tratado é de 40,8% do total gerado, no entanto não se conhece o nível de tratamento deste esgoto para os principais indicadores de poluição como o DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). O SNIS que é o Sistema Nacional de Informações em Saneamento não possui um indicador para avaliar o tratamento dos efluentes. Portanto, não é possível conhecer a efetiva carga¹ que chega aos rios. Este seria o indicador que permitiria efetivamente conhecer a eficiência do sistema de tratamento de esgoto. O fato de existir coleta e tratamento, não garante que a carga foi eliminada ou reduzida, já que é significativo o número de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) funcionando de forma precária e com sistemas operacionais ineficientes.

Observa-se que o sistema de abastecimento de água e de esgoto são ineficientes e os indicadores usados não retratam a real situação dos mesmos no país. Analisando os dois sistemas de forma integrada, observa-se que a ineficiência no tratamento de esgoto faz com que uma parcela da vazão para abastecimento é reduzida devido a contaminação da fonte, ou seja, superficial ou subterrânea.

Para analisar a eficiência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário foram identificados

dois indicadores de resultado, chamados *Vazão de subsídio* (Q_s) e *Índice de sustentabilidade hídrica* (IS_h) (TUCCI, 2017).

Vazão de subsídio – Tucci (2017) introduziu este conceito como sendo, *a vazão da natureza usada para recuperar a qualidade da água do rio, nos padrões de enquadramento do rio*. O termo *subsídio* é usado porque a sociedade que não faz a sua parte, coletando e tratando esgoto, está recebendo um subsídio da natureza. Portanto, neste conceito a demanda de água de uma área urbana não é somente a vazão consuntiva (consumida), mas deve ser acrescida da vazão necessária para diluir o esgoto não tratado pela cidade. Para determinar esta vazão foi adotado que esta vazão é obtida pela mistura da carga residual da cidade com a carga natural do rio. A carga residual depende do nível de coleta e tratamento de esgoto. A equação resultante é (TUCCI, 2017):

$$Q_s = \frac{\alpha \cdot q [(1 - \alpha\beta)C_n - C_s]}{(C_s - C_i)} \quad (1)$$

onde: Q_s é a vazão de subsídio em L/dia; C_s é a concentração meta da classe do rio para o parâmetro de qualidade água (mg/L); C_i é a concentração do rio antes de receber o efluente, considerando esta uma concentração de rios com baixa poluição (menor ou igual a C_s) (mg/L); C_n é a concentração do parâmetro no esgoto bruto (mg/L); q é a vazão da demanda de abastecimento da cidade em L/dia; α é a parcela da demanda de água que retorna ao rio (varia entre 0 e 1), usualmente adotada igual a 0,8; β é a parcela do esgoto que é coletada e tratada (varia entre 0 e 1); μ é a proporção do esgoto bruto que é tratado (varia entre 0 e 1). Nesta expressão é possível introduzir o efeito das fossas de uma área urbana. Neste caso, a demanda total é reduzida da demanda que é distribuída para residências ou prédios comerciais e industriais que usam fossa.

Índice de Sustentabilidade Hídrica (IS_h) – Este indicador é a relação entre a demanda hídrica pela disponibilidade hídrica. No caso de uma cidade fica:

$$IS_h = \frac{\text{demanda consuntiva} + \text{vazão de subsídio}}{\text{disponibilidade hídrica}} \quad (2)$$

Quando $IS_h > 1$ significa que a demanda total é superior a disponibilidade e quando $IS_h < 1$ indica que a demanda é inferior a disponibilidade. Geralmente

¹ Carga é o produto da vazão pela concentração do poluente, que pode ser obtido em unidades de Kg/dia ou Ton./dia.

Tabela 1 - Indicadores de abastecimento e saneamento do Brasil (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015).

Setor	Indicador	Valor
Abastecimento de água	Perdas na rede de distribuição (%)	36,7
Abastecimento de água	Consumo médio por pessoa L/habitante/dia	154
Abastecimento e esgotamento sanitário	Proporção do volume consumido que deve ser tratado ¹ (%)	80 a 85
Esgotamento sanitário	Cobertura de coleta e tratamento do total gerado (%)	40,8
Esgotamento Sanitário	Nível de redução de DBO do esgoto bruto no tratamento (%)	Desconhecido

¹ Observa-se que cerca de 15 a 20% do volume entregue pelo sistema de abastecimento é consumido no sistema.

quando na parte superior da equação é usada somente a demanda consuntiva observa-se uma grande folga nesta relação e IS_h é muito inferior a 1. No entanto, quando a parte superior é somada a vazão de subsídio, raramente este indicador é inferior a 1. Lembrando que este indicador representa um equilíbrio do abastecimento e das condições ambientais da cidade e sua área próxima. Tucci (2017) apresentou a equação para este índice para uma área urbana área:

$$IS_h = \frac{q \cdot p}{Q_d (C_s - C_i)} \{ (1 - \alpha)(C_s - C_i) + \alpha [(1 - \mu\beta)C_n - C_s] \} \quad (3)$$

onde: p = é a população em habitantes; Q_d é a disponibilidade hídrica em L/dia.

Este índice pode ser utilizado para determinar o número de pessoas (para $IS_h=1$) que pode habitar uma área urbana dentro de determinados padrões de consumo de água (q), coleta (β) e tratamento de esgoto (μ) e disponibilidade hídrica Q_d (L/dia).

A disponibilidade hídrica pode ser definida pela disponibilidade da bacia hidrográfica a montante da cidade. Neste caso, a disponibilidade varia muito, de acordo com os mananciais disponíveis. Quando um rio contribui para a disponibilidade de várias cidades, na realidade a cidade mais a montante usa água limpa e as demais recebem água e esgoto, reduzindo a disponibilidade por falta de tratamento. Para caracterizar um limite da relação demanda-disponibilidade foi considerando a área de abrangência da cidade. Tucci (2017) converteu este índice para a relação entre a área de bacia necessária para atender a demanda dividida pela área de ocupação da cidade. Uma cidade sustentável deveria se limitar a usar a água que precipita na sua área de ocupação. Este conceito é discutível porque a maioria das cidades busca mananciais não

urbanizados justamente por não controlar de forma sustentável seus impactos. A premissa é de que o índice determine quantas vezes a área urbana necessita de sua área de ocupação para atender a demanda total da cidade (incluindo a vazão de subsídio). Considerando que existe uma relação entre a disponibilidade hídrica e a área da bacia como a seguinte:

$$Q_d = k \cdot q_m \cdot A \quad (4)$$

onde: Q_d é vazão de disponibilidade hídrica. Esta vazão, para uma bacia sem regularização, pode ser adotada igual a Q_{95} , (vazão de 95% da curva de permanência, para rios sem regularização). No caso da existência de um reservatório, Q_r é vazão regularizada. Estas duas vazões podem ser expressas em função da vazão média da bacia e esta, em função da área de drenagem; k é o coeficiente de regionalização entre Q_{95}/Q_m ou Q_r/Q_m onde Q_m é a vazão média em L/dia ou m^3/s . A vazão específica é $q_m = Q_m/A$, onde A é a área de drenagem.

A população que ocupa a região tem uma densidade de ocupação $D = p/A_{ocu}$, onde A_{ocu} é a área de ocupação na mancha urbana. Substituindo esta equação e a equação 4 na equação 3 resulta na seguinte expressão para o indicador (Tucci, 2017):

$$IS_h = \frac{\gamma}{f_a} \cdot \{ (1 - \alpha)(C_s - C_i) + \alpha [(1 - \mu\beta)C_n - C_s] \} \quad (5)$$

onde: $\gamma = \frac{q \cdot D}{86400 \cdot k \cdot q_m (C_s - C_i)}$. O coeficiente foi introduzido para considerar as unidades das variáveis; $f_a = A/A_{ocu}$. Quando $f_a > 1$ significa que a cidade está usando uma área para disponibilidade hídrica superior a sua área de ocupação, devido a uma ou mais razões: (a) a demanda consuntiva é muito alta; (b) a falta de tratamento de esgoto aumentou muito a vazão de subsídio.

Para obter o equilíbrio é necessário atuar na eficiência do uso da água ou no tratamento dos efluentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ESTADO DE SANTA CATARINA

Santa Catarina possui um território de aproximadamente 95 mil km², distribuído entre 295 municípios e população urbana de aproximadamente 5,75 milhões de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO

DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). A área urbanizada é de 1.700 km² (GEOAMBIENTE SENSORIAMENTO REMOTO LTDA, 2008), representando apenas 1,79% da área do Estado. A densidade populacional urbana é de aproximadamente 34 hab./ha, inferior à densidade média brasileira de 65 hab./ha. O Estado é dividido em 10 Regiões Hidrográficas (RH) (ver Figura 1a), sendo 5 pertencentes a vertente do interior (RH1 a RH5) e 5 pertencentes a vertente do litoral (RH6 a RH10). A Figura 1 apresenta

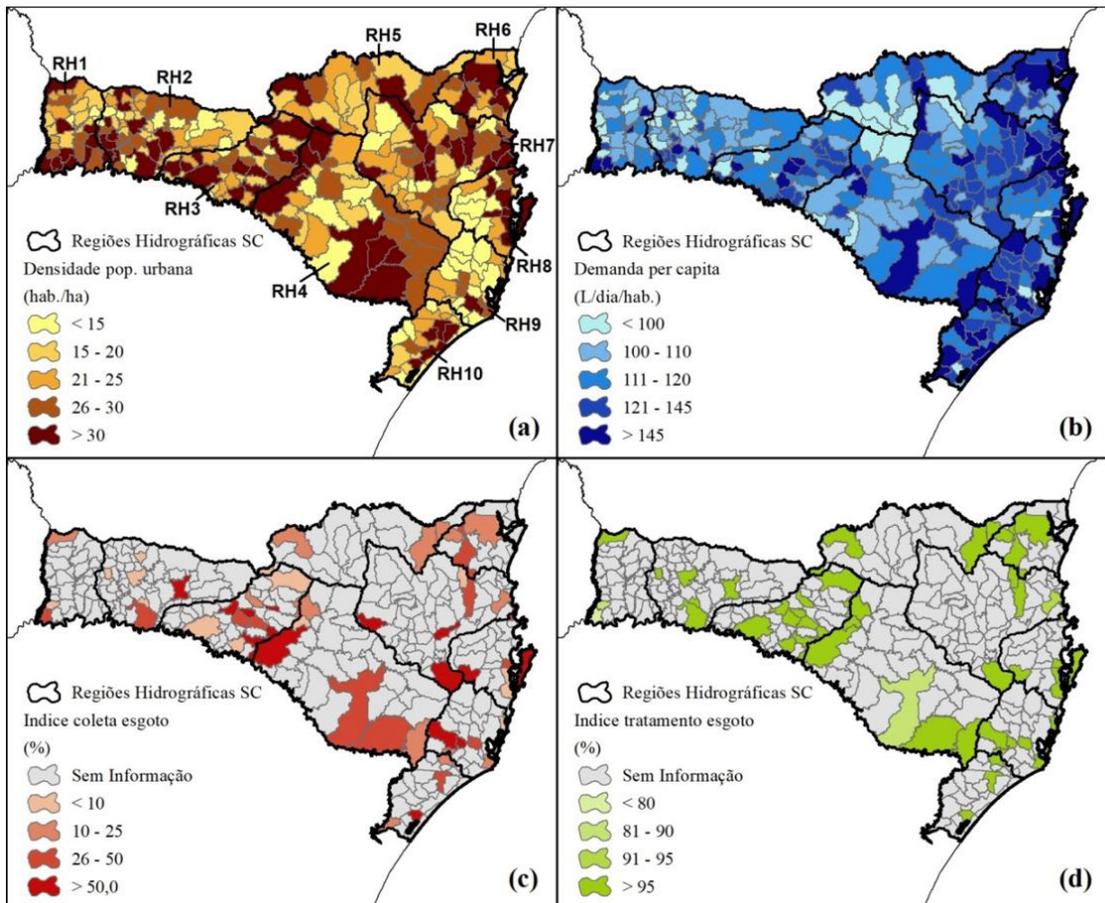


Figura 1. Área de estudo: (a) densidade populacional urbana (hab./ha - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017; GEOAMBIENTE SENSORIAMENTO REMOTO LTDA, 2008), (b) consumo per capita (L/dia/hab. – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015), (c) índice de coleta de esgoto (%), (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015) e (d) índice de tratamento de esgoto (%), (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015).

a distribuição espacial da densidade populacional urbana e alguns indicadores de saneamento dos municípios catarinenses. Os principais indicadores de saneamento compilados para todo o Estado são apresentados na Tabela 2.

INDICADORES PARA O CENÁRIO ATUAL

Para análise das condições de qualidade da água dos rios foi adotado como indicador o DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio, que é o principal indicador de carga de qualidade da água para fontes orgânicas. As variáveis a serem estimadas são: disponibilidade hídrica Q_d , demanda hídrica urbana q , indicadores de coleta e tratamento de esgoto das cidades, meta de qualidade da água dos rios.

Disponibilidade hídrica urbana

A disponibilidade hídrica nas áreas urbanas dos municípios foi calculada com base no estudo de regionalização de vazão existente para Santa Catarina (2006). O referido estudo produziu equações para as regiões do Estado.

$$Q_d = A^a \times P_m^b \times K \times C \quad (6)$$

onde: Q_d é o indicador de disponibilidade hídrica considerado (p.ex., Q_{90} , Q_{95} , Q_{98} ou outro) (L/dia), a , b e K são coeficientes da equação obtidos pelo referido estudo de regionalização; A é a área de drenagem considerada (km^2); P_m é a precipitação média anual na bacia (mm/ano); C é uma constante utilizada para conversão de unidades ($= 86,4 \times 10^6$). Comparando a Equação 4, $k.q_m = K.C.P_m^b.A^{a-1}$. A precipitação foi obtida através do Atlas Climatológico de Santa Catarina (PANDOLFO et al., 2002). A área de drenagem para computo da disponibilidade hídrica

foi considerada igual à área urbanizada/construída do município ($A = A_{\text{ocu}}$), obtida a partir do mapeamento de uso e ocupação do Estado de Santa Catarina (GEOAMBIENTE SENSORIAMENTO REMOTO LTDA, 2008). Foram utilizadas como indicadores de disponibilidade hídrica as vazões com 95% de permanência (Q_{95}) e 98% de permanência (Q_{98}). Estas vazões correspondem a disponibilidade hídrica sem regularização com um risco 5% e 2% de falha.

Demanda hídrica urbana

O cálculo da demanda hídrica urbana dos municípios de Santa Catarina foi realizado com base nas informações populacionais disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e informações de saneamento SNIS. Neste caso a demanda hídrica urbana total de um dado município, Q_T (L/dia), foi obtida como na equação 2 pela seguinte equação²:

$$Q_T = Q_c + Q_s \quad (7)$$

onde: o termo Q_c representa o consumo direto da água nas residências e prédios enquanto o termo Q_s representa a vazão de subsídio que os corpos d'água tem que prover para diluir os efluentes lançados e mantê-los em níveis de qualidade aceitáveis, conforme preconizado na Resolução CONAMA 357/05 (Equação 1). O consumo direto de água nas residências, foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$Q_c = q_{pc} \times p \times (1 - \alpha) \quad (8)$$

onde: q_{pc} é o consumo per capita do município (L/dia/hab.), conforme informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2015), p é a população urbana do município (habitantes), conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), α é um coeficiente de retorno (adimensional), considerado 0,8.

A vazão de subsídio, Q_s (L/dia), foi calculada utilizando a Equação 1. Os valores de β para cada município foram obtidos utilizando os índices de coleta

Tabela 2 – Indicadores de saneamento de Santa Catarina (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015).

Indicador	Valor
Demanda média per capita (L/dia/hab.)	134
Perdas na rede de distribuição (%)	33
Coleta de esgoto (%)	33
Tratamento (%)	87

² Neste trabalho não foi considerada a parcela de consumo relativa a “água virtual”, isto é, a quantidade de água usada nos produtos que usamos ou consumimos no nosso dia a dia.

e tratamento disponibilizados no SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015) (IN015_AE e IN016_AE), complementados com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Devido a falta de dados sobre o nível (eficiência) do tratamento (μ), foi adotado para todos os municípios um valor de 80%. O parâmetro de qualidade da água utilizado para avaliar a Q_s foi a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). Neste caso C_n foi considerada igual a 300 mg/l (VON SPERLING, 2005), $C_s = 5$ mg/l para rio classe 2 (BRASIL, 2005) e $C_i = 2$ mg/l para condições naturais esperadas.

Indicador de sustentabilidade hídrica urbana

O Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana (IS_h) (TUCCI, 2017), relaciona a demanda total de água no ambiente urbano, Q_u , e a disponibilidade hídrica possível de ser gerada no ambiente urbano, Q_d . Este índice foi calculado considerando a proporção das áreas de disponibilidade hídrica e de ocupação (Equação 5)

Os resultados obtidos para o IS_h em nível de municípios foram agregados para o nível de Região Hidrográfica (RH) levando em conta a posição das áreas urbanas e os limites das RH. A abrangência municipal e localização das sedes urbanas em relação as RH foram obtidas através dos relatórios de caracterização geral elaborados no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC)³.

RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir mostram: (a) o diagnóstico da situação atual quanto a vazão de subsídio e o índice de sustentabilidade; (b) os cenários de intervenções potenciais considerando um programa de investimentos de 15 anos, com base numa proporção PIB estadual em Saneamento.

Diagnóstico

A Tabela 3 apresenta um resumo dos valores de uso da água e coleta e tratamento de esgoto pela

RH do Estado. A maior parte da população vive nas RH litorâneas (RH6, RH7, RH8, RH9 e RH10), aproximadamente 73% do total do Estado. Neste aspecto, destacam-se as RH7 (Vale do Itajaí) e RH8 (Litoral Centro), onde vivem 44% da população e estão localizadas 7 das 12 cidades com mais de 100 mil habitantes no Estado. Ainda com relação a aspectos demográficos, a densidade populacional urbana ultrapassa os 100 hab./ha na RH8, indicando alto grau de verticalização nas cidades desta RH.

A demanda per capita para abastecimento urbano nas RH varia ente 111 (RH2) e 166 (RH7) L/dia/hab., o índice de coleta e tratamento de esgoto varia entre 10% (RH1) e 49% (RH4), sendo os maiores valores observados nas RH litorâneas (com exceção da RH4 – Planalto de Lages). A carga total gerada pelo Estado nas áreas urbanas é de 200,8 mil ton/dia de DBO e deste total 54,8 mil ton/dia é tratado e 146 mil ton/dia de DBO despejado nos rios sem tratamento, representando uma carga retirada de apenas 37,5%.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos termos que compõe a demanda total de água no meio urbano considerando o cenário atual dos municípios catarinenses. Com relação ao termo do consumo direto, Q_c (Figura 2a), os valores variaram entre 0,0001 m³/s (em Tigrinhos) e 0,19 m³/s (em Joinville), com valor médio para os municípios do Estado de 0,007 m³/s. Considerando o somatório do consumo direto de todos os municípios, o valor global para Santa Catarina é de aproximadamente 1,97 m³/s (-0,03 m³/dia/hab.). A vazão de subsídio, por sua vez, variou entre 0,03 m³/s (em Tigrinhos) e 55 m³/s (em Joinville), com valor médio para os municípios do Estado de 1,9 m³/s. Considerando o somatório de todos os municípios, o valor global para Santa Catarina é de aproximadamente 554 m³/s (-8,50 m³/dia/hab.). A demanda total é de 556 m³/s (8,53 m³/dia/hab.), portanto a vazão de subsídio representa 99,6% da vazão total. No Brasil, o consumo direto no meio urbano é de 76,39 m³/s (0,033 m³/dia/hab.). A vazão de subsídio Q_s é cerca de 17.360 de m³/s (7,50 m³/dia/hab.), resultando em uma demanda total de 7,53 m³/hab./dia. Assim, constata-se que a demanda total per capita obtida para as cidades de Santa Catarina é 13% superior ao verificado para o Brasil como um todo.

³ Disponibilizado em <http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/plano-estadual-biblioteca>.

Tabela 3 – Resumo do diagnóstico por RH de Santa Catarina.

RH	População Urbana (hab.)	Densidade populacional urbana (hab./ha)	Demanda per capita (L/dia/hab.)	Coleta e tratamento de esgoto (%)	Carga total (1000 ton./dia de DBO)	Carga tratada (1000 ton./dia de DBO)	Carga para os rios (1000 ton./dia de DBO)
1	160.394	34	117	10	4,5	0,36	4,14
2	381.340	39	111	18	10,2	1,46	8,70
3	339.640	43	122	24	9,9	1,91	8,04
4	394.723	45	121	49	11,5	4,49	6,97
5	299.119	37	117	14	8,4	0,94	7,46
6	869.513	43	160	37	33,4	9,88	23,51
7	1.318.576	47	166	32	52,5	13,45	39,08
8	1.191.356	126	155	39	44,3	13,83	30,49
9	314.901	47	137	35	10,4	2,90	7,45
10	478.860	37	137	44	15,7	5,54	10,20
Total	5.748.422	34	134	29	200,8	54,8	146,0

* Destacado em vermelho estão as RH localizadas na vertente do interior e em azul as RH localizadas na vertente litorânea.

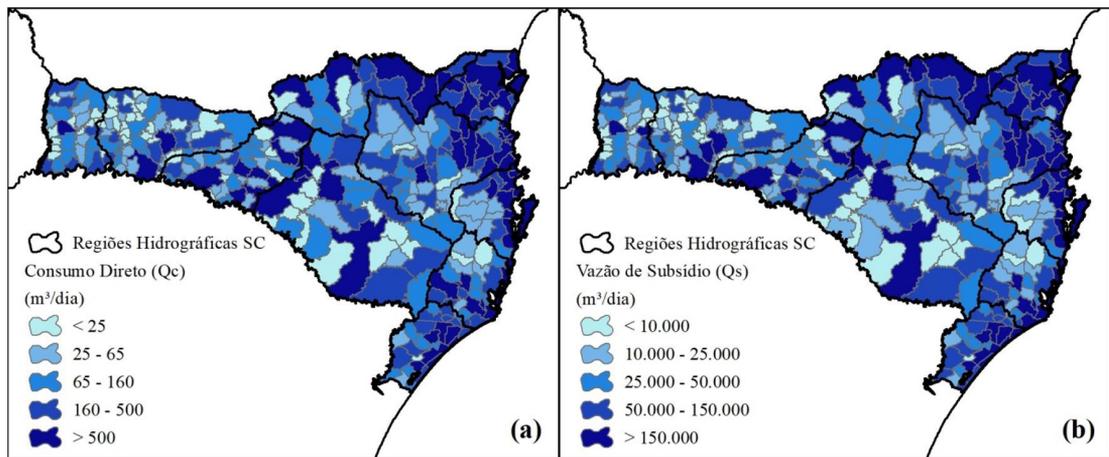


Figura 2. Estimativa da demanda total de água no meio urbano: (a) consumo direto (m^3/dia) e (b) vazão de subsídio para diluição de cargas orgânicas domésticas (m^3/dia).

A análise conjunta dos dois termos considerados no cálculo da demanda total de água (Q_c e Q_s) mostra que, na média, nos municípios catarinenses a parcela da demanda total relacionada ao termo Q_s é cerca de 280 vezes superior à relacionada ao termo Q_c . Estes valores indicam que a demanda direta é insignificante perto da demanda para recuperar os recursos hídricos da contaminação pelos efluentes domésticos urbanos, representada pelo termo Q_s . Estes resultados revelam a

magnitude do impacto da falta de saneamento no meio urbano, que reduzem drasticamente a disponibilidade hídrica por falta de qualidade da água.

A Figura 3 apresenta o IS_h calculado para os 295 municípios de Santa Catarina levando em conta diferentes indicadores de disponibilidade hídrica considerados neste estudo. Como pode ser observado, tanto considerando a Q_{95} (Figura 3a) como a Q_{98} (Figura 3b) como indicador de disponibilidade hídrica,

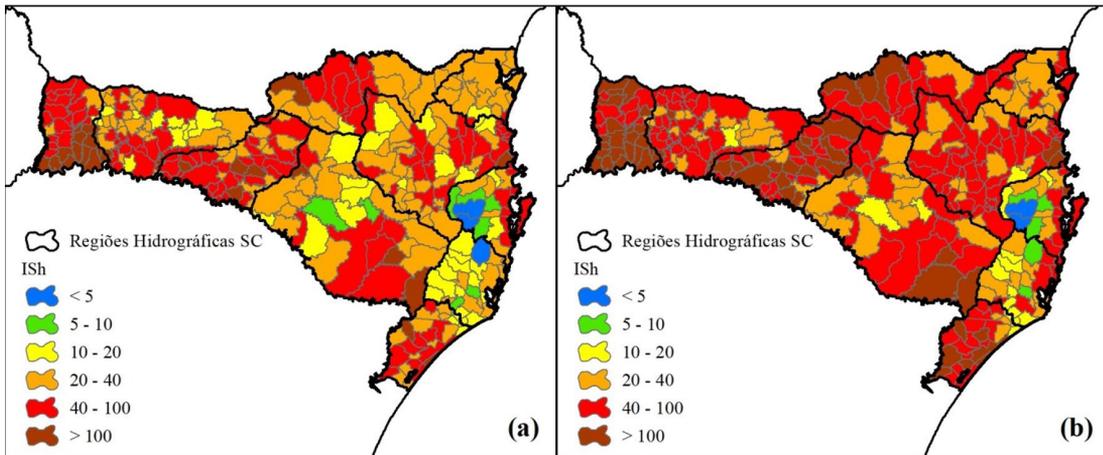


Figura 3. Indicador de sustentabilidade hídrica no ambiente urbano: (a) indicador de disponibilidade hídrica Q_{95} e (b) indicador de disponibilidade hídrica Q_{98} .

todos os 295 municípios de Santa Catarina apresentam IS_h superior a 1, ou seja, condições insustentáveis com relação a gestão urbana dos recursos hídricos.

Levando em conta a Q_{95} como indicador de disponibilidade hídrica (Figura 3a), os valores do IS_h variaram entre 1,87 (em rancho Queimado – melhor desempenho) e 234,1 (em Mondai – pior desempenho), com valor global para o Estado de 44,12. Por sua vez, considerando a Q_{98} como o indicador de disponibilidade hídrica (Figura 3b), os valores do IS_h variaram entre 2,27 (em Rancho Queimado – melhor desempenho) e 367,88 (em Mondai – melhor desempenho), com valor global para o Santa Catarina de 58,59.

A análise dos valores globais de IS_h evidenciam a insustentabilidade hídrica no meio urbano de Santa Catarina. Este cenário de insustentabilidade fica evidente levando em conta que as cidades catarinenses apresentam, na média, uma demanda total de água entre 44 a 59 vezes a disponibilidade obtida em uma área igual a sua área urbanizada. Neste contexto, para que as cidades catarinenses se tornem sustentáveis do ponto de vista da gestão hídrica algumas soluções podem ser apontadas: (1) ampliar a capacidade de prover água, ou seja, a disponibilidade hídrica no meio urbano; e (2) ampliar e melhorar o desempenho dos sistemas de saneamento.

A partir dos resultados obtidos por município, os valores de consumo direto, vazão de subsídio, demanda

hídrica urbana total, e indicadores de sustentabilidade hídrica foram agregados para o nível de RH, sendo os resultados apresentados na Tabela 4. Para o cenário atual, a demanda hídrica urbana de total per capita variou entre 5,9 m^3 /dia (RH4) e 9,4 (RH7) m^3 /dia. Considerando os valores totais por região a demanda hídrica urbana varia entre 15,1 (RH1) e 144 (RH7) m^3 /s. Com relação ao índice de sustentabilidade hídrica, o melhor desempenho é observado na RH9, enquanto na RH1 é observado o pior desempenho.

Plano de Investimento

A elaboração do cenário de investimento necessário para melhorar o desempenho das cidades catarinenses em relação à sustentabilidade hídrica considerou três fases distintas de implementação e levou em conta apenas aspectos relacionados à ampliação da coleta e tratamento de esgoto e eficiência na remoção da carga poluente. Assim não foram considerados aspectos relacionados à ampliação da disponibilidade hídrica nas cidades do Estado. O aumento de disponibilidade hídrica somente poderia ser obtido com a regularização de vazão⁴. Os cenários são os seguintes:

⁴ Usar a regularização para aumentar a sustentabilidade a qualidade da água seria tratar esgoto com regularização, o que é ambientalmente inadequado;

Tabela 4 - Cenário atual da demanda hídrica urbana e índice de sustentabilidade hídrica por RH.

RH	Q_C (m ³ /s)	Q_S (m ³ /s)	Q_T (m ³ /s)	Q_T per capita (m ³ /dia/hab.)	IS_h (Q ₉₅)	IS_h (Q ₉₈)
1	0,04	15,10	15,14	8,16	103	162
2	0,10	33,24	33,34	7,55	50	69
3	0,10	30,39	30,48	7,75	76	110
4	0,12	26,87	26,99	5,91	39	55
5	0,08	27,89	27,97	8,08	42	54
6	0,32	90,82	91,14	9,06	29	37
7	0,50	143,08	143,59	9,41	58	82
8	0,44	114,41	114,84	8,33	45	55
9	0,10	27,49	27,59	7,57	23	30
10	0,17	44,84	45,00	8,12	51	78
TOTAL	1,97	554,12	556,08	7,99*	43,45*	57,7*

* Valores médios.

Fase A - A meta adotada foi de 95% da população urbana de Santa Catarina atendida com coleta e tratamento de esgoto com uma eficiência de remoção da carga poluente de 80%. Os investimentos foram escalonados em um horizonte de 15 anos, partindo das condições atuais de esgotamento sanitário nas cidades catarinenses. Neste caso, foram considerados incrementos regulares ao ano no índice de coleta e tratamento, partindo da situação atual de cada município até os 95% finais no ano 15. Foi considerado um custo médio de R\$ 1.400 por habitante para implantação da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Fase B - A meta final 98% da população urbana com acesso a coleta e de tratamento de esgoto e 80% de eficiência na remoção da carga poluente. O horizonte de tempo considerado para atingir a meta foi de 5 anos, após o fase A.

Fase C - Meta final 100% de esgoto coletado e tratado nas 12 cidades de Santa Catarina com mais de 100 mil habitantes e eficiência de 95% na remoção da carga poluente nestes municípios. O horizonte de tempo considerado para atingir a meta também foi de 5 anos, após a fase B.

Para as 3 fases de investimento simuladas foi considerada a taxa de crescimento anual da população urbana, calculada de acordo com os dados do censo IBGE para os municípios catarinenses (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA,

2017). Neste caso, o crescimento médio da população urbana de Santa Catarina foi considerado igual a 1,5% ao ano, sendo esta taxa considerada constante ao longo dos horizontes de investimento. Provavelmente esta taxa será revista, já que a fertilidade no Sul do Brasil não sustenta esta taxa de crescimento.

A Figura 4 apresenta os resultados da simulação dos investimentos necessários, considerando os três cenários e metas descritas acima. Os investimentos necessários para alcançar a meta da fase A são de aproximadamente R\$ 5,6 bilhões, valor que representa 2,23% do Produto Interno Bruto (PIB) atual do Estado⁵. Considerando que os investimentos desta fase serão escalonados em 15 anos, o custo médio anual é de aproximadamente R\$ 371 milhões, pouco mais de 0,12% do PIB. Como resultado deste investimento, espera-se ao fim da fase A uma redução de 66% na vazão de subsídio per capita no estado, indo dos atuais 8,33 m³/dia/hab. para 2,81 m³/dia/hab.. Com relação ao indicador de sustentabilidade hídrica, ao final da fase A espera-se uma redução de 58% em comparação ao cenário atual.

Para o cumprimento da meta da fase B foi estimado um investimento adicional de R\$ 313 milhões aplicados em 5 anos, o que representa na média R\$ 63 milhões investidos a cada ano. Como resultado desta fase de investimento, espera-se uma redução de 9,8% na vazão

⁵ R\$ 250 bilhões no ano 2015.

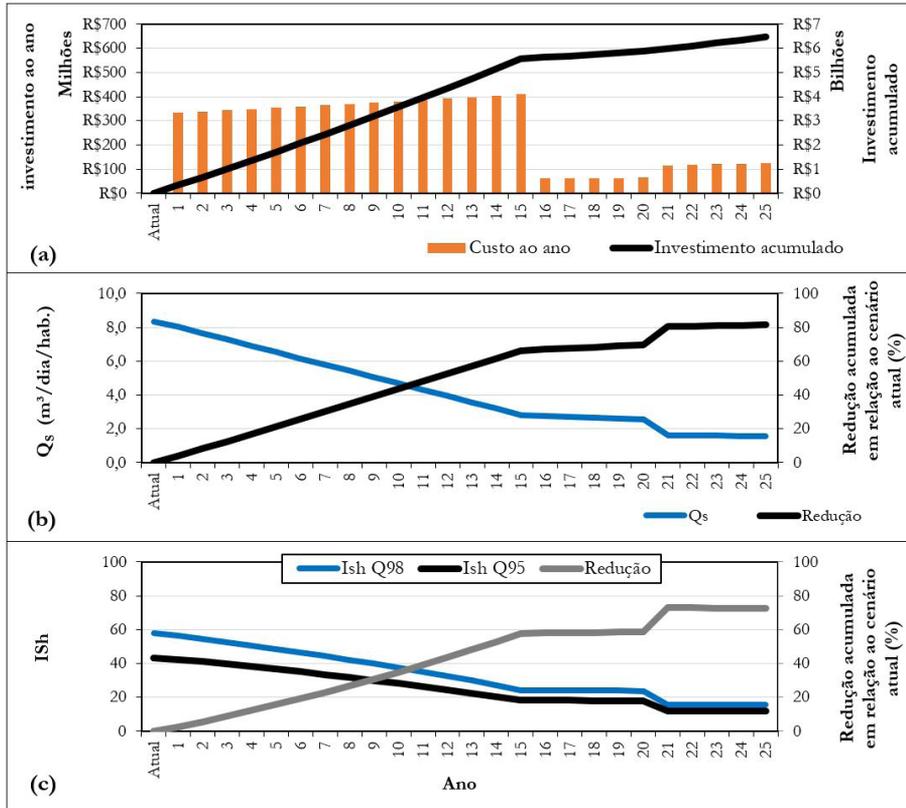


Figura 4. Evolução ao longo dos horizontes de investimentos: (a) investimentos ao ano e acumulado, (b) reflexos na vazão de subsídio (Q_s), e (c) evolução do indicador de sustentabilidade hídrica.

de subsídio per capita em comparação ao resultado obtido ao final da fase A, indo de $2,81 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$ para $2,54 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$. Para o indicador de sustentabilidade hídrica, espera-se uma redução de aproximadamente 3% em relação ao resultado obtido ao final da fase A.

Por fim, para a fase C foi estimado um investimento de R\$ 602 milhões em 5 anos, o que representa, na média, R\$ 120 milhões investidos a cada ano. Espera-se ao final da fase C uma redução de aproximadamente 39% na vazão de subsídio per capita em comparação aos resultados obtidos ao final da fase B, indo de $2,54 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$ para $1,55 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$. Para o indicador de sustentabilidade hídrica é esperado uma redução de 33% em comparação ao resultado obtido ao final da fase B.

O valor global de investimentos considerando as fases A, B e C é de R\$ 6,5 bilhões, equivalente a 2,6% do PIB atual de Santa Catarina. Espera-se ao final das três fases uma redução de 81% na vazão de subsídio per capita do Estado, indo de $8,33 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$ para $1,55 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{hab.}$. Para o indicador de sustentabilidade hídrica espera-se uma redução de 72% em comparação ao cenário atual.

A Tabela 5 apresenta os valores de investimento em cada uma das fases simuladas e o respectivo impacto sobre o IS_h , compilados para cada uma das RH do Estado de Santa Catarina. Como esperado, os maiores valores de investimentos devem ser alocados nas RH7, RH8 e RH6, as mais populosas do Estado e que apresentam maiores valores de carga lançada em corpos d'água no cenário atual. O principal impacto

dos investimentos sobre o IS_h é verificado na RH6, onde espera-se que ocorra uma redução de 80% do valor em relação ao cenário atual. Por sua vez, o menor impacto % é esperado na RH9, onde se espera que ao

final das 3 fases de investimento ocorra uma redução de 56% do IS_h em relação ao cenário atual. A evolução do IS_h ao final de cada uma das fases de investimento e para cada RH são apresentados na Figura 5.

Tabela 5 – Resumo dos cenários de investimento por RH e o respectivo impacto sobre o índice de sustentabilidade hídrica.

RH	Investimento (milhões de R\$)				Redução do IS_h (%)			
	Fase A	Fase B	Fase C	Total	Atual - Fase A	Fase A - Fase B	Fase B - Fase C	Total
1	206	8	21	236	66	2,90	0,00	64,22
2	472	22	54	547	64	0,93	26,39	73,49
3	359	17	33	409	64	4,83	0,00	64,12
4	239	17	19	275	56	7,89	29,36	71,42
5	347	14	17	377	69	6,74	0,00	70,42
6	845	50	73	967	58	2,82	51,81	80,24
7	1.425	79	165	1.669	56	1,29	39,13	73,71
8	988	64	130	1.183	54	1,75	46,61	75,69
9	286	17	41	344	57	3,39	0,00	55,89
10	396	26	50	472	56	2,89	21,42	66,47
TOTAL	5.563	314	602	6.479	60*	3,5*	21,5*	69,6*

* Valores médios.

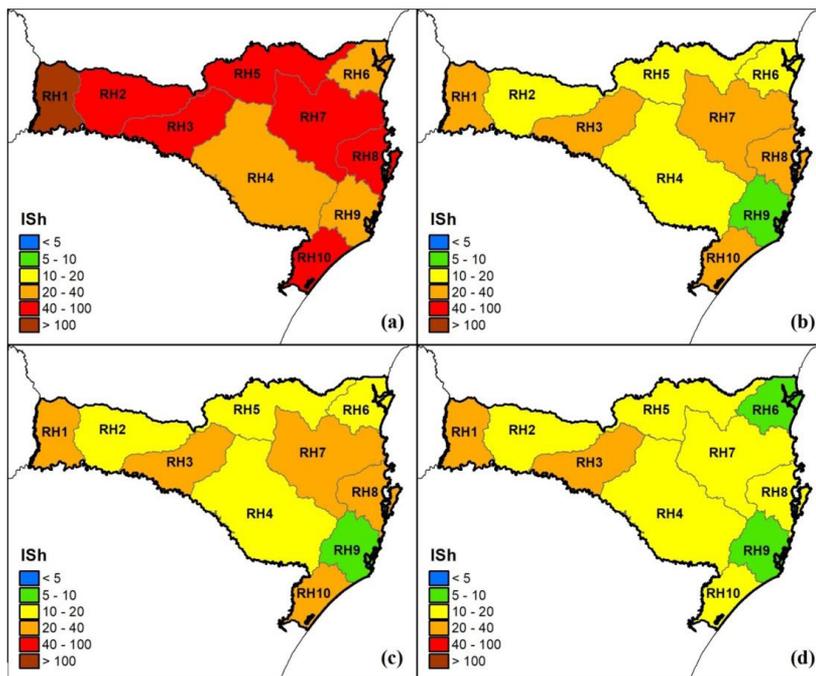


Figura 5. Evolução do IS_h por RH de Santa Catarina: (a) Cenário atual; (b) IS_h ao final da fase A de investimento; (c) IS_h ao final da fase B de investimento; (d) IS_h ao final da fase C de investimento.

CONCLUSÕES

Atualmente o saneamento tem utilizado indicadores de abastecimento de água e tratamento de esgoto que não retratam a realidade das condições hídricas das fontes de abastecimento e a capacidade das mesmas atenderem a população dentro de uma visão sustentável e de longo prazo.

Na realidade brasileira e de muitos países em desenvolvimento, se observa que as cidades de montante que não tratam esgoto contaminam as fontes das cidades de jusante, de forma que as cidades mais a jusante praticamente utilizam esgoto sem tratamento misturado com a vazão incremental, que também recebe outras contaminações. Isto resulta num risco importante para a população, devido a insegurança dos mananciais. Além disso, existem cenários na própria cidade que áreas de mananciais contaminam as fontes de abastecimento. O resultado deste processo é a perda de mananciais e aumento do risco de saúde para a população. A seca de 2014-2015 no Sudeste do Brasil mostrou, que não houve falta de água, mas de água não contaminada, afinal o rio Tietê e Pinheiros em São Paulo não secaram, mas estavam contaminados. A seca se torna mais grave quando a vazão natural diminui, perdendo a sua capacidade diluidora.

Indicadores

Para avaliar este processo Tucci (2017) apresentou dois indicadores:

- *Vazão subsídio* que é a vazão necessária para diluir o esgoto que não foi tratado. Somando este valor ao valor consumido, obtém-se que a vazão de subsídio chega a valores maiores que 200 vezes a vazão consumida para grande parte das cidades brasileiras. Este indicador retrata a deficiência do tratamento de esgoto na realidade do país. Esta ineficiência está cobrando um preço muito alto para sociedade na insegurança da saúde e no impacto ambiental;
- *Indicador de Sustentabilidade Hídrica* – relaciona a demanda pela disponibilidade hídrica. Este indicador mostra que numa área urbana são necessários várias vezes a sua área em recursos naturais para atender a demanda devido a falta de tratamento de esgoto.

Este artigo apresenta os resultados destes indicadores para o Estado de Santa Catarina, analisando a variabilidade destes indicadores para todas as cidades no cenário atual e para uma proposta de Plano de Investimento em esgoto para o Estado, desenvolvido em três fases.

Diagnóstico

A demanda total em Santa Catarina é de 556 m³/s (8,53 m³/dia/hab.) onde a vazão de subsídio representa 99,6% da vazão total. No Brasil, a demanda total per capita é de 7,53 m³/hab./dia. Assim, constata-se que a demanda total per capita obtida para as cidades de Santa Catarina é 13% superior ao verificado para o Brasil como um todo.

Considerando a Q_{95} como indicador de disponibilidade hídrica, os valores do IS_h variaram entre 1,87 (em rancho Queimado – melhor desempenho) e 234,1 (em Mondai – pior desempenho), com valor global para o Estado de 44,12. Isto indica que no Estado os municípios usam 44 vezes a sua área de ocupação para atender a demanda real, principalmente devido a falta de tratamento de esgoto. Quando isto não ocorre os rios ficam totalmente poluídos. Afinal, você conhece algum rio urbano deste país que não está poluído? Isto mostra o fracasso do setor de saneamento.

Plano de Investimento

Foram consideradas três fases quanto a melhoria da coleta e tratamento de esgoto, que são as seguintes:

Fase A - 95% da população urbana atendida com coleta e tratamento de esgoto com uma eficiência de remoção da carga poluente de 80%. Os investimentos num horizonte de 15 anos;

Fase B - A meta final 98% da população urbana com acesso a coleta de e tratamento de esgoto e 80% de eficiência na remoção da carga poluente. O horizonte de tempo considerado para atingir a meta foi de 5 anos, após a fase A;

Fase C - Meta final 100% de esgoto coletado e tratado nas 12 cidades de Santa Catarina com mais de 100 mil habitantes e eficiência de 95% na remoção da carga poluente nestes municípios. O horizonte de tempo considerado para atingir a meta também foi de 5 anos, após a fase B.

Os resultados mostram o seguinte:

- Ao final da fase A espera-se uma redução de 66% na vazão de subsídio per capita em relação ao cenário atual. Com a implementação da fase B, espera-se uma redução adicional de 3% em relação ao cenário atual, atingindo 70% de redução global. Por fim, ao final da fase C espera-se uma redução incremental de 11%, atingindo 81% de redução da vazão de subsídio per capita com relação ao diagnóstico;
- Com relação à evolução do índice de sustentabilidade hídrica, no final da fase C haverá uma redução total de 73% com relação ao cenário atual, indo de 44 para 12. Isto significa que as cidades ainda terão um uso de 12 vezes a sua área ocupada;
- O investimento na fase A é de R\$ 5,6 bilhões e representa 2,23% do PIB atual do Estado. Escalonados em 15 anos, o investimento anual da fase A é de R\$ 371 milhões, representando 0,12% do PIB a cada ano. O investimento estimado para a Fase B é R\$ 313 milhões, 0,13% do PIB. O investimento estimado para a fase C é R\$ 602 milhões, 0,24% do PIB estadual.

Este Plano de Investimento leva o Estado a um novo patamar ambiental dos rios e com redução dos riscos de saúde. Estas fases de investimentos representam a busca de um patamar de serviço que reduz grande parte das cargas. A evolução após este Plano de Investimento poderá envolver a busca de eficiência e conservação da água, além de solução de problemas específicos dentro de metas específicas de enquadramento de cada rio. A eficiência envolve o uso de tecnologia para reduzir o uso da água como contratos de “performance” para dedução de perdas. A conservação é o aumento do uso racional da água pela população. O uso de regularização de vazão não foi explorado neste artigo porque isto significaria construir barragens para diluir esgoto, o que é totalmente contrário aos princípios de sustentabilidade hídrica e ambiental.

AGRADECIMENTOS

Parte deste estudo foi realizada no âmbito do Projeto “Inovação em instrumentos da política ambiental em Santa Catarina - Recursos Hídricos”,

financiado pela Fundação e Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), o qual entre outras atividades foi responsável pela elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/SC), desenvolvido pelo Centro de Economia Verde (CEV) da Fundação CERTI para a Diretoria de Recursos Hídricos (DRHI) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2015.

FEKETE, B.; STAKHIV, E. Performance indicators in the water resources management sector. In: BHARAURI, A. et al. (Orgs). *The global water system in the anthropocene*. Springer Water, 2014. chap. 2.

GEOAMBIENTE SENSORIAMENTO REMOTO LTDA. *Projeto de proteção da mata atlântica em Santa Catarina (PPMA/SC)*. São José dos Campos, 2008. 90 p. Relatório Técnico do Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina.

HOOPER, B. *Key performance Indicators of River Basin organizations: visiting Scholar Program US Army Corps of Engineers*. 2006. 100 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo 2010*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Panorama geral de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

PAHL-WOSTL, C. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, Guildford, v. 19, p. 354-365, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>.

PANDOLFO, C. et al. *Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina – SADR. *Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio a sua*

implementação: regionalização de vazões das bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: SADR, SDS, Engecorps-Tetraplan-Lacaz Martins, 2006. 141 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. *Série histórica de informações municipais*. 2015. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

TUCCI, C. E. M. *Integrated urban water management in large cities*. World Bank, 2009. 166 p.

TUCCI, C. E. M. Indicador de sustentabilidade hídrica urbana. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 14, p. e7, 2017.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2005. 240 p.

Marcelo Pedroso Curtarelli

Certi. mpedroso.curtarelli@gmail.com

Contribuição do autor:

Contribuiu com a concepção do estudo, escrita do manuscrito, coleta e análise de dados, análise dos resultados e conclusões.

Carlos Eduardo M. Tucci

Rhama. carlos.tucci@rhama.com.br

Contribuição do autor:

Contribuiu com a concepção do estudo, desenvolvimento da metodologia, construção dos cenários de investimento, análise dos resultados e conclusões.

Vinicius Ragghianti

Certi. vtr@certi.org.br

Contribuição do autor:

Contribuiu com a concepção do estudo, desenvolvimento da metodologia, análise dos cenários de investimentos e conclusões.

Vitor Guimarães

Certi. vsg@certi.org.br

Contribuição do autor:

Contribuiu com a coleta e análise de dados e análise dos resultados.