

## **IV-277 – MODELO INTEGRADO DA INFRAESTRUTURA SANITÁRIA PARA CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS URBANAS**

**Karoline Richter<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Engenharia da Construção Civil pela UFPR (PPGECC/UFPR). Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR (PPGERHA/UFPR) com doutorado sanduíche no Departamento de Gestão das Águas pela Universidade Tecnológica de Delft (TU Delft).

**Daniel Costa dos Santos<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGIPH/UFRGS). Doutor em Construção Civil e Estruturação Urbana pela Universidade de São Paulo (PPGEC.USP). Pós-Doutor em Saneamento Ambiental pelo *Institute for Water Education* (UNESCO/IHE). Professor associado da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

**Endereço<sup>(1,2)</sup>:** Caixa Postal 19011 – Bairro Jardim das Américas – CEP: 81530-000 – Curitiba – Paraná – Brasil  
Tel: (41) 3361-3142 - e-mail: [karoline.richter@ufpr.br](mailto:karoline.richter@ufpr.br)

### **RESUMO**

Com a elevada urbanização atrelada ao crescimento populacional e às políticas de incentivo à migração para os grandes centros urbanos, seja em busca de empregos ou de uma melhor qualidade de vida, as áreas urbanas encontram-se cada vez mais ocupadas e com sistemas de infraestrutura sanitária sobrecarregados. O aumento dessas demandas aos sistemas de forma acelerada e sem planejamento, provocam picos de vazões não previstos pelos sistemas atuais de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana. O incremento populacional das áreas urbanas combinado com a ausência de sistemas mais eficientes, sinergicamente com o habitat e o meio ambiente em que vivemos, provocam a longo prazo, danos irreversíveis na bacia hidrográfica ocupada. Tais danos refletem diretamente para a população, principalmente, com relação à disponibilidade de água e tratamento sanitário com qualidade. O *Urban Water Use (UWU) Model* é uma ferramenta que visa auxiliar a seleção de medidas para a infraestrutura sanitária urbana. Portanto, a presente pesquisa tem como principal objetivo apresentar um estudo de caso baseado na aplicação do *UWU Model* para a concepção integrada dos sistemas de infraestrutura sanitária, a fim de garantir a qualidade das águas urbanas e do meio ambiente. Os resultados são favoráveis a utilização de sistemas integrados com sinergia, demonstrando quantitativamente uma maior eficiência nos três sistemas da infraestrutura sanitária em questão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Urbanização, Sistemas de Infraestrutura Sanitária, *UWU Model*.

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), a população atual no Brasil atingiu 207,8 milhões, sendo 84% classificada como urbana, ou seja, representando cerca de 2,83% da população mundial.

A urbanização no país teve início na década de 50, através do elevado crescimento populacional, bem como, processo de êxodo rural - movimento esse que permitiu a migração da população do campo para os principais centros de atividade industrial e econômica do país - em busca de uma melhor qualidade de vida.

À medida em que o desenvolvimento industrial encontrava-se em relativo crescimento, em contrapartida, as cidades brasileiras que não estavam preparadas em termos de macro infraestrutura para receberem essas elevadas taxas migratórias, tiveram por consequência, o estabelecimento de uma faixa periférica, não podendo evitar o surgimento de favelas e ocupações urbanas desordenadas, fenômeno esse denominado como "urbanização sem cidade" (LEME, 1999).

Ao longo dos anos, as faixas periféricas das cidades brasileiras foram deixadas à margem de serviços básicos, como abastecimento de água, saneamento e drenagem.

No contexto da drenagem, nas áreas urbanizadas, as bacias hidrográficas não possuem mais a desejada permeabilidade para amortecer os escoamentos superficiais, bem como, vegetação para garantir a evapotranspiração, provocando um desequilíbrio no balanço do ciclo hidrológico; e, por consequência, acréscimo de volume pluvial, elevando as vazões máximas e sobrecarregando os sistemas tradicionais de drenagem, quando existentes.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017), entre os anos de 2013 e 2016, cerca de 47,5% dos municípios brasileiros declararam situação de emergência ou calamidade pública devido às inundações e 7,7 milhões de pessoas já foram afetadas, uma média de 1,9 milhão por ano.

As consequências vão além dos sistemas de drenagem para os sistemas de esgoto. Em 2007, foi promulgada a lei nº 11.445, estabelecendo as diretrizes nacionais de saneamento básico no país. No entanto, nos últimos 20 anos, o acesso ao saneamento básico (domicílio ligado à rede geral de esgoto ou fossa séptica, servido de água proveniente da rede geral de abastecimento e com destino do lixo coletado pelos serviços de limpeza) aumentou apenas 15%, um total de 65,30%. Isso significa que 72,1 milhões de brasileiros ainda se encontram fora do sistema de saneamento (ABES, 2015).

No Brasil, a reflexão sobre como os sistemas tem funcionado é proporcional às escolhas do governo em investir nessas infraestruturas e é um produto de fatores externos aos setores de gestão de água e esgoto (HELLER & CASTRO, 2009).

Entretanto, atualmente, com as superpopulações nas cidades, a decisão não é apenas uma questão de investir ou não, o saneamento está diretamente relacionado à saúde pública e aos riscos para os cidadãos devido à exposição aos patógenos, podendo sofrer agravos para surtos e epidemias (Ten VELDHUIS et al., 2010).

Além disso, os sistemas sanitários, com estado de conservação insatisfatório, podem contaminar solos e água, comprometendo a qualidade da água de lençóis freáticos e reservatórios subterrâneos, tendo como consequência a propagação de doenças à população e problemas de saúde pública.

O planejamento e a atualização da infraestrutura sanitária para novas vazões demandam elevada quantidade de investimentos e tempo. (GERSONIUS et al., 2012). Portanto, mesmo com investimentos, a infraestrutura sanitária deve ser planejada com antecedência, pois se trata de um planejamento a longo prazo.

## **OBJETIVO**

Nesse sentido, o modelo de Uso Urbano da Água (*Urban Water Use - UWU*) (SANTOS & Van DER STEEN, 2012) visa auxiliar o gerenciamento das águas urbanas de forma integrada, considerando medidas alternativas para problemas com a água urbana garantindo a sustentabilidade ambiental nessas áreas. A ferramenta se concentra na seleção de medidas para infraestrutura sanitária urbana e para as edificações utilizando o planejamento estratégico.

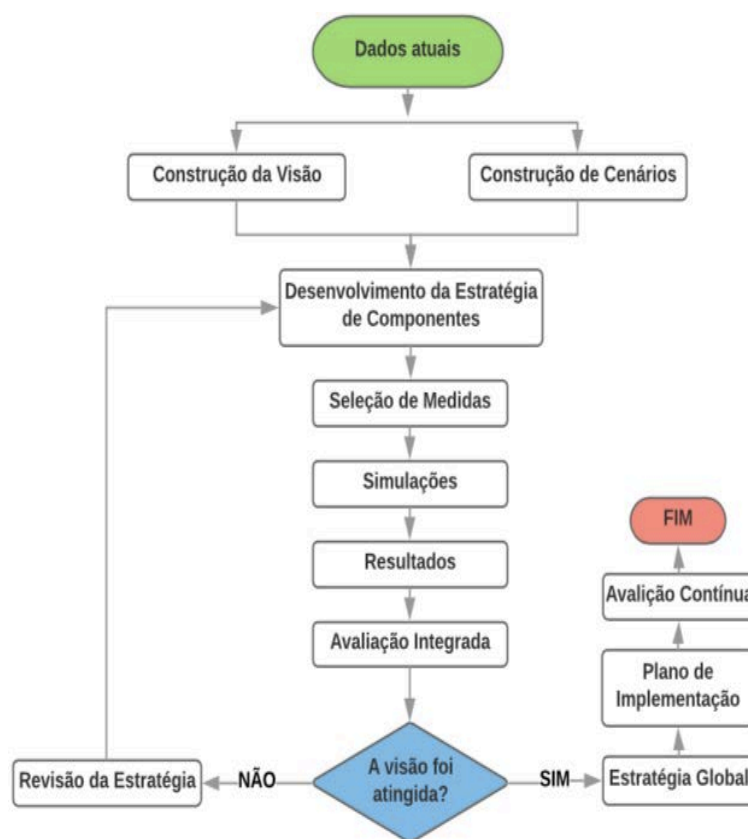
Portanto, o objetivo deste estudo é demonstrar que, se partes da infraestrutura sanitária são projetadas em conjunto na Teoria de Sistemas e Gestão Integrada de Recursos Hídricos, incluindo a realidade do uso da água em residências, o *design* resultante poderia ser mais sustentável sob condições sociais e ambientais e critérios econômicos.

Desta forma, a presente pesquisa tem como objetivo principal apresentar um estudo de caso baseado na aplicação do Modelo *UWU* para sistemas de abastecimento de água, saneamento, drenagem e edificações em uma concepção integrada para promover a conservação das águas urbanas.

## METODOLOGIA

### O Modelo *UWU*

O Modelo de Uso Urbano da Água (*UWU*) possui oito principais etapas: (i) a entrada de dados atuais, (ii) a construção da visão, (iii) a construção de cenários, (iv) a definição da melhor estratégia, (v) a seleção, equacionamento e estruturação das medidas, (vi) as equações de simulação dos indicadores, vinculando aos cenários, medidas e a visão, (vii) os resultados e (viii) a avaliação integrada, conforme figura 1.



**Figura 1 – Estrutura Geral do Modelo de Uso Urbano da Água (*UWU*)**

FONTE: adaptado de SANTOS & Van DER STEEN (2012)

A etapa de construção da visão é composta por indicadores que representam o desejo da comunidade para o futuro em termos de qualidade de vida e ambiente sustentável. Portanto, para a construção da visão, é necessário escolher indicadores que devem estar relacionados ao que é desejado pela comunidade para aquela área no futuro. Após a seleção dos indicadores, é necessário quantificá-los em valores específicos esperados para cada cenário, bem como, definir valores de peso para cada indicador. Os cenários fazem parte do planejamento estratégico e representam as mudanças não controláveis no futuro. Com base nessa definição, os cenários são construídos considerando os fatores externos, que são variáveis que o tomador de decisão não possui controle algum.

Para este estudo, os indicadores admitidos foram (i) Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água, (ii) Cobertura do Sistema de Saneamento; (iii) Vazão de Escoamento Superficial (iv) DBO, (v) Nitrogênio Total, (vi) Fósforo Total, (vii) Sólidos Suspensos Totais e (viii) Coliformes Totais, conforme apresentado na Tabela 1 com os respectivos pesos.

**Tabela 1 – Indicadores e seus respectivos pesos**

| Indicadores                                       | Peso (W) |
|---|----------|
| Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 20%      |
| Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 20%      |
| Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 10%      |
| DBO (kg/dia)                                      | 10%      |
| Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 10%      |
| Fósforo Total (kg/dia)                            | 10%      |
| Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 10%      |
| Coliformes Totais (dia-1)                         | 10%      |

Para a construção de cenários, o crescimento populacional foi definido como um fator externo. Desta forma, foram construídos dois cenários: cenário 1 (SC1) e cenário 2 (SC2), com taxas de crescimento populacional de 2,0% e 4,0%, respectivamente.

No que diz respeito aos grupos de medidas, a estrutura foi baseada em estratégias que envolveram o abastecimento de água, saneamento e drenagem. Com base nessas estratégias, compuseram-se os seguintes grupos de medidas conforme demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Grupo de Medidas**

| Identificação  | Medidas   | Informação Adicional  |
|--|---|---|
| Grupo de Medidas 0<br>(GM0)<br><b>Valores Atuais</b> | (M0): Sem medidas   | Considera que nenhuma intervenção será adotada para a área de estudo, corresponde a um grupo de controle de medidas e para o estabelecimento do valor da visão. |
| Grupo de Medidas 1<br>(GM1)<br><b>Sem Sinergia</b>   | (M1): Redução do consumo de água per capita<br>(M2): Tanques de retenção (áreas públicas)<br>(M3): Tanques de retenção (áreas privadas)<br>(M4): Redução do índice de perdas<br>(M5): Reuso da água | No GM1 todas as estratégias são calculadas separadamente, isto é, sem sinergia.   |
| Grupo de Medidas 2<br>(GM2)<br><b>Com Sinergia</b>   | (M1): Redução do consumo de água per capita<br>(M2): Tanques de retenção (áreas públicas)<br>(M3): Tanques de retenção (áreas privadas)<br>(M4): Redução do índice de perdas<br>(M5): Reuso da água | Todas as estratégias anteriores do Grupo de Medidas 1, mas calculadas em conjunto, interligadas, com sinergia.  |

Em consideração ao GM0, o grupo sem medidas de intervenção, cuja maior importância é entender os cenários futuros sem que medida alguma de mitigação seja tomada, além de servir de valor de base para comparação com outros grupos. Por outro lado, GM1 e GM2 consideraram medidas sem e com sinergia, respectivamente.

É importante observar que, nessa abordagem, a sinergia é considerada a interação entre as partes de um sistema, cujos resultados podem ser diferentes de uma simples soma ou subtração. Assim, a importância da sinergia neste estudo é avaliar a ação conjunta entre as medidas aplicadas em uma comunidade que refletem sobre um desempenho de indicadores. Por exemplo, economizar água de diferentes maneiras, como reduzir o consumo de água per capita, usar a água da chuva ou reutilizar a água cinza, implica na redução da água potável nos edifícios e, conseqüentemente, no aumento da cobertura do sistema de abastecimento de água. Já, as conseqüências indiretas são a redução do fluxo de esgoto e cargas de poluentes que poderiam proporcionar um aumento da cobertura do sistema de saneamento, mas em contrapartida comprometer o fluxo ótimo da vazão de esgoto.

Considerando essas abordagens, para a próxima etapa as simulações foram trabalhadas de acordo com as equações apresentadas na tabela 3. Assim, para cada cenário, os indicadores são estimados para todos os grupos de medidas.

**Tabela 3 – Equações conforme cenários**

| Grupo de Medidas | Indicadores                                       | Cenários  |  |
|------------------|---|---|--|
|                  |   | SCi   |  |
| GMk<br>(k=0,1,2) | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | $C_{WSSI} = \frac{C_{WSS0} * Q_{WSSI}}{Q_{WSSI}}$ |  |
|                  | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | $C_{SSI} = \frac{C_{SS0} * Q_{SSi}}{Q_{SSi}}$     |  |
|                  | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | $Q_i = C_i * i_i * A$                             |  |
|                  | DBO (kg/dia)                                      | $L_{i,BOD} = Q_{SSRi} * L_{BOD} * A$              |  |
|                  | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | $L_{i,N} = Q_{SSRi} * L_N * A$                    |  |
|                  | Fósforo Total (kg/dia)                            | $L_{i,P} = Q_{SSRi} * L_P * A$                    |  |
|                  | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | $L_{i,TSS} = Q_{SSRi} * L_{TSS} * A$              |  |
|                  | Coliformes Totais (dia-1)                         | $L_{i,TC} = Q_{SSRi} * L_{TC} * A$                |  |

$C_{WSSI}$  é cobertura do sistema de abastecimento de água no cenário i (%);  
 $C_{WSS0}$  é atual cobertura do sistema de abastecimento de água (%);  
 $Q_{WSSI}$  é a atual vazão do sistema de abastecimento de água (l/dia);  
 $Q_{WSS0}$  é a vazão do sistema de abastecimento de água no cenário i (l/dia);  
 $C_{SSI}$  é a cobertura do sistema de esgotamento sanitário no cenário i (%);  
 $C_{SS0}$  é a atual cobertura do sistema de esgotamento sanitário (%);  
 $Q_{SSi}$  é a atual vazão do sistema de esgotamento sanitário (l/dia);  
 $Q_{SS0}$  é a vazão do sistema de esgotamento sanitário (l/dia);  
 $Q_{SSRi}$  é a vazão do sistema de esgotamento sanitário ou a vazão de escoamento superficial do sistema de drenagem urbana no cenário i;  
 $L_{i,BOD,N,P,TSS,TC}$  é a carga poluente no cenário i (kg/dia);  
 $L_{BOD,N,P,TSS,TC}$  é a carga poluente vinda do sistema de esgotamento sanitário ou do sistema de drenagem urbana (mg/l).

Após estas simulações, a performance de cada grupo de medidas é avaliada através do Índice de Efetividade (IE), que é o valor obtido pela soma do peso dado aos indicadores multiplicado pelo número de cenários que atingiram a visão. A formulação EI é apresentada na Equação 1, da seguinte forma:

$$EI_k = \sum_{i=1}^n N_{ij} x W_i \quad \text{Equação (1)}$$

$EI_k$  é o Índice de Efetividade k do Grupo de Medidas k (GM<sub>k</sub>);  
 $k$  é o número do Grupo de Medidas;  
 $p_i$  é o número de indicadores;  
 $N_{ij}$  é o número do cenário j aonde o indicador i atingiu a visão;  
 $W_i$  é o peso do indicador i.

Desse modo, quanto maior o número de cenários em que um indicador atingiu seu valor de referência (visão) e quanto maior o peso desse indicador, mais efetivo é o conjunto de medidas. Portanto, para medir o IE foi construído um cronograma em que os valores de efetividade podem variar entre 0,0 a 3,0 (o valor máximo varia de acordo com o número de cenários adotados) conforme apresentado na tabela 4.

**Tabela 4 – Escala do Índice de Efetividade**

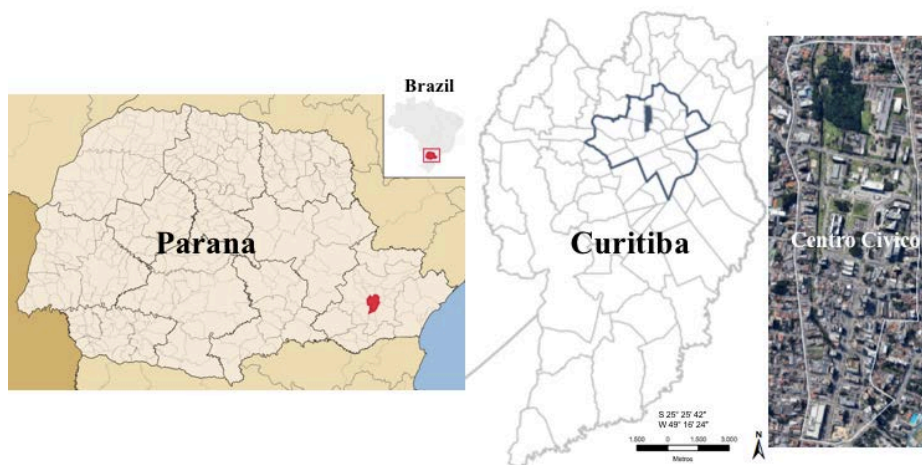
|              |             |
|--------------|-------------|
| Excelente    | 2,50 – 3,00 |
| Bom          | 1,90 – 2,40 |
| Razoável     | 1,30 – 1,80 |
| Insuficiente | 0,70 – 1,20 |
| Pobre        | 0,00 – 0,60 |



Neste contexto, é importante notar que a avaliação integrada é um valor diferente do desempenho do indicador, que são diferentes em cada grupo de medidas e em cada cenário. É possível alterar as medidas a qualquer momento e gerar novos valores, o processo está sempre em uma constante e integrada avaliação.

#### Área de Estudo

Com o intuito de avaliar a efetividade dos grupos de medidas em uma projeção real, foi desenvolvido um estudo de caso no Centro Cívico de Curitiba / PR, cuja área é de 95 ha, densidade populacional de 50,50 habitantes / ha com 4.797 habitantes (IBGE, 2010). A projeção da população futura foi estimada através do modelo geométrico com taxa de crescimento anual de 2% e 4%, para os próximos 15 anos (para 2033), conforme cenários. A intensidade anual de chuva na região é de 1483,4 mm / ano (INMET, 2016), que foi admitida para o desenvolvimento desta simulação. A área de ocupação é composta por 56,28% dos edifícios Institucionais e Serviços e 43,72% dos Edifícios Residenciais.



**Figura 2 – Área de Estudo**

O conjunto de dados para a área de estudo é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Conjunto de dados para a Área de Estudo**

| Sistema                          | Descrição                       | Valores         |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Sistema de Abastecimento de Água | Per capita (l/hab.dia)          | 154             |
|                                  | Índice de perdas da rede (%)    | 34,8            |
| Sistema de Saneamento            | Coefficiente de retorno         | 0,8             |
|                                  | DBO (mg/l)                      | 300             |
|                                  | Nitrogênio Total (mg/l)         | 45              |
|                                  | Fósforo Total (mg/l)            | 7               |
|                                  | Sólidos Suspensos Totais (mg/l) | 350             |
|                                  | Coliformes Totais (NMP/100ml)   | 10 <sup>9</sup> |
| Sistema de Drenagem              | DBO (mg/l)                      | 13              |
|                                  | Nitrogênio Total (mg/l)         | 2,4             |
|                                  | Fósforo Total (mg/l)            | 0,42            |
|                                  | Sólidos Suspensos Totais (mg/l) | 141             |
|                                  | Coliformes Totais (NMP/100ml)   | 5000            |

FONTE: SANEPAR (2016), NBR 9648 (1986), Von SPERLING AND CHERNICHARO (2005) AND BROMBACH (2005)

A estimativa do consumo de água per capita foi definida para uma habitação típica de acordo com a realidade das cidades brasileiras (ITB, 2014). Adotou-se a média de Curitiba de acordo com os dados da Empresa de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR).

## RESULTADOS OBTIDOS

Os primeiros resultados estão relacionados às estimativas populacionais de acordo com os cenários SC1 e SC2 e são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6 – Variação da população de acordo com os cenários**

| Cenários     | Variação da população (habitantes) |
|--------------|------------------------------------|
| Dados atuais | 4797                               |
| SC1          | 6456                               |
| SC2          | 8639                               |

Os resultados das simulações GM0 são apresentados na tabela 7 e GM1 e GM2 na tabela 8.

**Tabela 7 – Resultados dos indicadores de acordo com o GM0 nos cenários atual, SC1 e SC2**

| Grupo de Medidas                  | Indicadores                                       | Cenários |          |          | Visão          |
|-----------------------------------|---|----------|----------|----------|----------------|
|                                   |   | Atual    | SC1      | SC2      |                |
| <b>GM0<br/>Valores<br/>Atuais</b> | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 100,00   | 74,30    | 55,53    | valor > 100%   |
|                                   | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 70,00    | 52,16    | 38,98    | valor >100%    |
|                                   | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 21,63    | 25,19    | 29,87    | valor < 21,63  |
|                                   | DBO (kg/dia)                                      | 196,99   | 260,71   | 344,56   | valor < 196,99 |
|                                   | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 30,39    | 40,09    | 52,84    | valor < 30,39  |
|                                   | Fósforo Total (kg/dia)                            | 4,81     | 6,34     | 8,34     | valor < 4,81   |
|                                   | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 465,03   | 578,04   | 726,76   | valor < 465,03 |
|                                   | Coliformes Totais (dia-1)                         | 5,76E+15 | 7,75E+15 | 1,04E+16 | 5,76E+15       |

**Tabela 8 – Resultados dos indicadores de acordo com o GM1 e o GM2 nos cenários atual, SC1 e SC2**

| Grupo de Medidas                | Indicadores                                       | Cenários |          |          | Visão          |
|---------------------------------|---|----------|----------|----------|----------------|
|                                 |   | Atual    | SC1      | SC2      |                |
| <b>GM1<br/>Sem<br/>Sinergia</b> | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 160,43   | 119,20   | 89,08    | valor > 100%   |
|                                 | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 112,62   | 83,68    | 62,53    | valor >100%    |
|                                 | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 19,14    | 22,10    | 26,00    | valor < 21,63  |
|                                 | DBO (kg/dia)                                      | 129,14   | 169,70   | 223,06   | valor < 196,99 |
|                                 | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 20,12    | 26,31    | 34,47    | valor < 30,39  |
|                                 | Fósforo Total (kg/dia)                            | 3,21     | 4,18     | 5,47     | valor < 4,81   |
|                                 | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 358,72   | 438,25   | 542,90   | valor < 465,03 |
|                                 | Coliformes Totais (dia-1)                         | 3,59E+15 | 4,83E+15 | 6,46E+15 | 5,76E+15       |
| <b>GM2<br/>Com<br/>Sinergia</b> | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 203,24   | 151,01   | 112,85   | valor > 100%   |
|                                 | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 140,78   | 104,60   | 78,17    | valor >100%    |
|                                 | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 18,05    | 20,75    | 24,31    | valor < 21,63  |
|                                 | DBO (kg/dia)                                      | 106,39   | 139,21   | 182,39   | valor < 196,99 |
|                                 | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 16,66    | 21,69    | 28,30    | valor < 30,39  |
|                                 | Fósforo Total (kg/dia)                            | 2,66     | 3,46     | 4,50     | valor < 4,81   |
|                                 | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 320,36   | 388,04   | 477,11   | valor < 465,03 |
|                                 | Coliformes Totais (dia-1)                         | 2,87E+15 | 3,86E+15 | 5,17E+15 | 5,76E+15       |

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser visto nas tabelas 7 e 8, nos três Grupos de Medidas analisados isoladamente, o desempenho dos indicadores na formulação dos cenários (atual, SC1 e SC2) diminui à medida que as condições dos fatores externos tornam extremas.

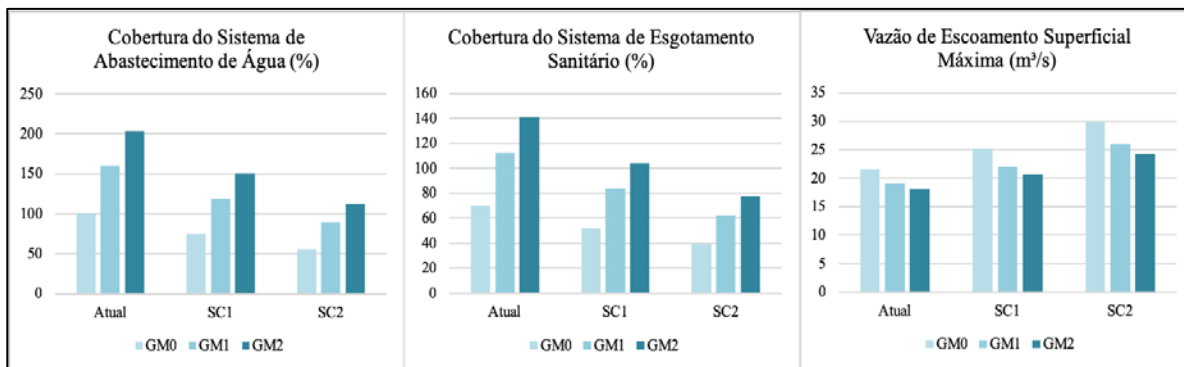
Como um exemplo de redução de desempenho: o valor da Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água e Cobertura do Sistema de Saneamento diminui gradativamente nos cenários atual, SC1 e SC2 respectivamente, o que significa uma diminuição de pessoas recebendo os serviços de água e saneamento em suas casas.

A redução de desempenho de indicador também acontece com a vazão de escoamento superficial, entretanto de maneira inversa, ou seja, com o aumento do valor do indicador, o que significa que quanto maior a vazão de escoamento superficial, maior a probabilidade de inundação na área.

O mesmo ocorre em relação aos demais indicadores: os valores de Demanda Biológica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Suspensos Totais e Coliformes Totais estão aumentando, bem como as cargas poluentes presentes nos corpos d'água.

Conforme demonstrado no GM0, o desempenho dos indicadores é pior em comparação com os demais Grupos de Medidas.

Assim, se os atuais sistemas analisados não sofrerem qualquer melhoria, a fim de proporcionar à população serviços adequados de abastecimento de água, saneamento e drenagem, os serviços em cenários futuros (nesse estudo, aumento da população) ficarão comprometidos. Nesse sentido, verifica-se a importância dos Grupos de Medidas, pois enquanto estes estiverem sendo implementados, ocorrerão melhorias de desempenho nos indicadores para cenários futuros. Os três principais indicadores de desempenho são demonstrados na figura 3.



**Figura 3 – Indicadores de acordo com o GM0, GM1, GM2 nos cenários atual, SC1 e SC2**

De acordo com o primeiro e o segundo gráficos, a cobertura do sistema de abastecimento de água e a cobertura do sistema de saneamento, respectivamente, é possível notar um crescimento linear em ambos os casos. Em cada cenário, conforme as medidas vão sendo implementadas (GM1 e GM2), todos os valores possuem um melhor desempenho do que o GM0 (o grupo sem medidas). Além disso, quando comparados o GM2 (medidas com sinergia), verifica-se um incremento relativamente maior. Esse é um resultado muito representativo, pois significa que medidas simples que atuam em sinergia podem ajudar todo o sistema a funcionar melhor e produzir resultados mais eficientes, sem qualquer intervenção na infraestrutura existente em questão.

Importante mencionar que a implementação dos Grupos de Medidas em cada cenário ajuda a mitigar o processo de deterioração dos sistemas e não têm o objetivo de solucionar toda a temática dos sistemas de saneamento no Brasil que vem ocorrendo há anos. Existem sistemas mais complexos envolvidos nesses processos, como políticas públicas, prioridades governamentais e processos gerais de gestão, as quais não estão computadas nesse estudo.

A Tabela 9 apresenta os resultados em resumo através do índice de efetividade (IE).



**Tabela 9 – Os resultados e classificação do Índice de Efetividade**

| Grupo de Medidas                  | Indicadores                                       | Resultados     |   |     | Índice de Efetividade $\Sigma(W*N)$ |
|-----------------------------------|---|----------------|---|-----|-------------------------------------|
|                                   |   | Visão Peso (W) | Número de cenários que atingiram o objetivo (N) | W*N |                                     |
| <b>GM0<br/>Valores<br/>Atuais</b> | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 0,2            | 1   | 0,2 | <b>1,0<br/>Insuficiente</b>         |
|                                   | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 0,2            | 1   | 0,2 |                                     |
|                                   | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | DBO (kg/dia)                                      | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | Fósforo Total (kg/dia)                            | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | Coliformes Totais (dia-1)                         | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
| <b>GM1<br/>Sem<br/>Sinergia</b>   | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 0,2            | 2   | 0,4 | <b>1,7<br/>Razoável</b>             |
|                                   | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 0,2            | 1   | 0,2 |                                     |
|                                   | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 0,1            | 1   | 0,1 |                                     |
|                                   | DBO (kg/dia)                                      | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | Fósforo Total (kg/dia)                            | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | Coliformes Totais (dia-1)                         | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
| <b>GM2<br/>Com<br/>Sinergia</b>   | Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água (%) | 0,2            | 3   | 0,6 | <b>2,6<br/>Excelente</b>            |
|                                   | Cobertura do Sistema de Saneamento (%)            | 0,2            | 2   | 0,4 |                                     |
|                                   | Vazão de Escoamento Superficial (l/s)             | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | DBO (kg/dia)                                      | 0,1            | 3   | 0,3 |                                     |
|                                   | Nitrogênio Total (kg/dia)                         | 0,1            | 3   | 0,3 |                                     |
|                                   | Fósforo Total (kg/dia)                            | 0,1            | 3   | 0,3 |                                     |
|                                   | Sólidos Suspensos Totais (kg/dia)                 | 0,1            | 2   | 0,2 |                                     |
|                                   | Coliformes Totais (dia-1)                         | 0,1            | 3   | 0,3 |                                     |

O índice de efetividade é utilizado para hierarquizar os resultados e facilitar a compreensão dos resultados. Conforme descrito anteriormente, a variação do IE é: 0,0-0,6 (Ruim); 0,7-1,2 (Insuficiente); 1,3-1,8 (Razoável); 1,9-2,4 (Bom); 2,5-3,0 (Excelente). Para o GM0 (sem qualquer medida), a classificação obtida foi “insuficiente” demonstrando que o sistema tradicional de prestação de serviços não é sustentável a longo prazo; enquanto que para GM1 o IE obtido foi “bom”, verificando que a aplicação de algumas medidas sem sinergia já apresenta resultados de melhoria. No entanto, o grupo de medidas que mais alcançou a visão foi o GM2, cujo IE foi classificado como “excelente”, demonstrando que medidas integradas com sinergia são mais efetivas através de resultados significativos.

## CONCLUSÕES

Com os resultados da simulação, é possível concluir que dentre os grupos de medidas abordadas (GM0, GM1 e GM2) o que obteve melhor desempenho no índice de efetividade foi o terceiro grupo de medidas (GM2), ou seja, o grupo de conservação da água, com todas as medidas agindo em conjunto e com sinergia entre os sistemas e o ambiente.

Foi observado quantitativamente que os sistemas, quando projetados como unidades individuais, possuem altas escalas de demandas de serviços, e devem adotar intervenções *in loco* na infraestrutura para atender aos cenários futuros.

Por outro lado, quando projetados em conjunto, atendem às demandas de cenários futuros, sem necessidade de intervenções *in loco* em infraestrutura, ou seja, reduzindo as escalas de demandas de atendimento pelo próprio sistema sinérgico e racional. Além de garantir sistemas de qualidade de distribuição, sem afetar o conforto dos usuários, melhorando também as questões ambientais dos centros urbanos, devido a tentativa de promover a sinergia entre os sistemas e o meio ambiente.

No entanto, após demonstrar a eficiência das medidas que atuam em sinergia com o meio ambiente quantitativamente, o desafio futuro é identificar quais as medidas mais adequadas que devem ser aplicadas para uma área de estudo específica. Afinal, o objetivo da ferramenta é listar o melhor grupo de medidas para livre escolha do gestor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Situação do Saneamento Básico no Brasil. Uma análise com base no PNAD 2015. Câmara Temática de Comunicação no Saneamento. São Paulo, Brasil, 2015.
2. ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 9649/1986: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
3. ANA – Agência Nacional de Águas. Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2017. Brasília, 2017.
4. BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 2007.
5. BROMBACH, H. WEISS, G. FUCHS, S. A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. Water Science and Technology, v. 51, n. 2, p. 119–28, jan. 2005.
6. GERSONIUS, B., ASHLEY, R., PATHIRANA, A., ZEVENBERGEN, C. Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure. Climate change. p.1–13. mai. 2012.
7. HELLER, L. CASTRO, J. E. 2009. Water and Sanitation Services: Public, Policy and Management. Earthscan. 363p. London, 2009.
8. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro. 175 p.
9. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População atual do Brasil. Rio de Janeiro, 2017.
10. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>
11. IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Mapas. 2018. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/>
12. ITB – Instituto Trata Brasil. Situação do Saneamento no Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2014>
13. LEME, M. C. S. Urbanismo no Brasil – 1895-1965. Studio Nobel, FAUUSP; FUPAM. São Paulo, 1999.
14. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Estado do Paraná. Indicadores operacionais. Curitiba, 2016.
15. SANTOS, D. C. dos, Van DER STEEN, P. Understanding the IUWM principles: based on Role Play approach. Delft, Netherlands, 2012.
16. Ten VELDHUIS, J.A.E., CLEMENS, F.H.L.R., STERK, G., BERENDS, B.R. 2010. Microbial risks associated with exposure to pathogens in contaminated urban flood water. Water Research, Volume 44, Issue 9, Pages 2910-2918, ISSN 0043-1354.
17. Von SPERLING, M. CHERNICHARO, C.A.L. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. IWA Publishing. 1460p. ISBN: 1843390027; 1843391074. London, 2005.