

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

(EMPREGO DE INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: CASO DA BACIA DO RIO DESCOBERTO, DF)

Cristiane M, S, N Castro¹ ; Guilherme F Marques²

RESUMO – Para a sua efetividade, ações na gestão de recursos hídricos demandam informação e conhecimento sobre o comportamento dos sistemas, especialmente em situações críticas. A mudança de gestão de crise para a gestão do risco, na qual é adotada uma visão de longo prazo e busca de uma estratégia de adaptação, demanda (a) capacidade de avaliar comportamento do sistema sob diferentes condições e cenários possíveis e (b) a escolha e emprego de critérios e índices de desempenho quantitativos para permitir que diferentes estratégias de adaptação futuras possam ser comparadas e, mais importante, seja possível identificar se a estratégia de adaptação escolhida está dando os resultados esperados. Não obstante, a adoção de critérios quantitativos de desempenho por órgãos gestores e agências ainda é limitada. O presente trabalho traz uma contribuição para o equacionamento desse problema ao explorar o emprego de indicadores e índices quantitativos de desempenho. Foi avaliada a sustentabilidade do sistema hídrico da bacia do Rio Descoberto no DF, que abastece mais de 60 % da demanda urbana de Brasília no Distrito Federal (DF). A modelagem do sistema foi realizada com o emprego da ferramenta de simulação WEAP (*Water Evaluation and Planning*)

ABSTRACT – For its effectiveness, actions in the management of water resources require information and knowledge about the behavior of the systems, especially in critical situations. A) is a manager of a long-term approach and pursuit of an adjustment strategy, demand (a) can be used as a long-term vision; and performance of quantitative methods for performer that different strategies of adaptations are as important as possible. Nevertheless, the adoption of quantitative performance data by management bodies and agencies is still limited. The present work presents a strategy to equalize the problem by exploring the use of indicators and quantitative indices of performance. Evaluation of the sustainability of the water system of the Descoberto River basin in the Federal District, which had more than 60% of the urban demand of Brasília in the Federal District (DF). The modeling of the system was carried out using the Integrated Water Assessment and Planning (WEAP) system.

Palavras-Chave – resiliência, vulnerabilidade e confiabilidade, índices de sustentabilidade.

INTRODUÇÃO:

O Distrito Federal passou por uma recente crise hídrica na Bacia do Rio Descoberto (Figura1) que fornece 60 % da água destinada a abastecimento urbano da cidade. A região da Bacia do Rio Descoberto, que abriga o sistema de abastecimento, também é caracterizada por sua forte produtividade agrícola, sendo essa fonte relevante de demanda de água na bacia (MMA, 2014).

No que se refere a atuação do órgão gestor na crise, a primeira Resolução da ADASA que tratou do tema escassez foi a Resolução nº 13, de 15 de agosto de 2016. Essa resolução estabeleceu os volumes de referência e ações de contenção em situações críticas de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria, visando assegurar os usos prioritários dos recursos hídricos. A Resolução definiu também os volumes dos reservatórios para caracterização de situação atenção, alerta, estado de restrição de uso e situação crítica de escassez e ainda as ações a serem desenvolvidas em cada contexto (ADASA, 2016).

1) ADASA, PROFÁGUA:(61)39614984, Cristiane.castro@adasa.df.gov.br; UFRGS, PROFAGUA , 2 email: guilherme.marques@ufrgs.br, URL: <http://lattes.cnpq.br/9529142584807910>.

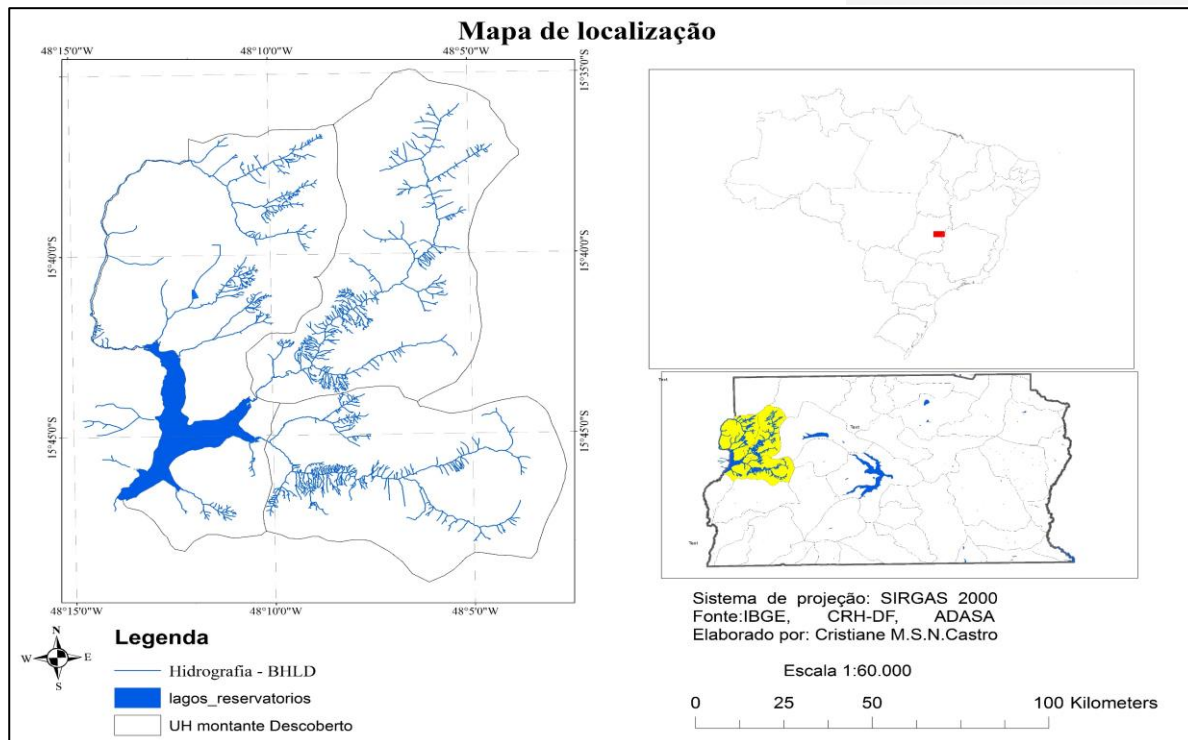


Figura 1. Mapa de Localização e delimitação da região de estudo Fonte: shapefile de hidrográfia CRH, shapefile de estados IBGE, Shape de unidades hidrográficas, ADASA.b

Em setembro de 2016, a situação de crise no DF foi oficialmente declarada pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA) por meio da Resolução nº 015/2016, de 16 de setembro de 2016, quando o volume do reservatório Descoberto atingiu 40% do volume útil (ADASA, 2016). Em sequência, o Governador do Distrito Federal, em razão da crise hídrica instalada, decretou emergência no Distrito Federal para os próximos 180 dias, a contar da publicação do decreto (DISTRITO FEDERAL, 2017).

Em resposta à crise, a ADASA adotou uma série de ações de mitigação buscando evitar o desabastecimento prolongado da população. Essas ações incluíram a fiscalização, a publicação de Resoluções que reduziram a vazão outorgada para os usos de irrigação e de demanda urbana, autorização para criação de tarifas de contingência, além de definir curvas de acompanhamento e metas dos reservatórios, atualizadas periodicamente.

Quanto às restrições hídricas para irrigantes, inicialmente a redução para captações de foi de 50%, definida em processo de alocação em janeiro de 2016. A redução perdurou até agosto de 2016, quando nova alocação foi realizada e reduziu-se a vazão de captação para 25 % do outorgado. A redução foi formalizada em março de 2017, com limitação de tempo de captação imposta pela Resolução ADASA/SECIMA/ANA nº 01, de 06 de março de 2017, o que representou em termos práticos a redução de captação para 25% da vazão outorgada e limitada ao tempo definido na resolução (ADASA, 2017 ADASA/SECIMA/ANA, 2017).

A primeira ação de redução de captações focada na CAESB foi a autorização para redução da pressão dinâmica nas redes de distribuição de abastecimento de água, no período de 22 h (vinte e duas) horas às 5 h (cinco) horas concedida pela Resolução ADASA n° 15 de 16 de setembro de 2016 (ADASA, 2016). Em sequência, houve redução de vazão outorgada de 6 m³/s para 3,5 m³/s, o que impôs à concessionária a necessidade de implantar o racionamento na área urbana.

Ao mesmo tempo, intensificam as ações de fiscalização, mediante articulação entre órgãos do GDF, conforme definido no Plano de Enfrentamento da Crise Hídrica (PECH) (BRASÍLIA, 2017). O foco das ações foi os maiores usuários, especialmente as captações por canais. A atuação nesse tipo de captação foi intensa com o fechamento de alguns canais e o monitoramento constante das captações. Como resultado, foi possível poupar mais de 500 L/s para o reservatório (ADASA, 2018 a).

Quanto às curvas de acompanhamento, essas apresentavam as metas para o reservatório desenvolvidas com base em balanço hídrico. As simulações tinham como entrada de dados (a) as projeções de vazões baseada na série de dados de chuva de 2016, pior ano da série histórica como observado no gráfico da Figura 5, (b) dados de evapotranspiração do reservatório, (c) captações e saídas do reservatório. Foi proposta uma forma de gerenciar o reservatório e evitar o agravamento da crise. Um exemplo da curva aparece na Resolução n° 26 de 2017, mostrada na Figura 2 (ADASA, 2017c). As reduções impostas pela ADASA tinham por objetivo o cumprimento de curvas de acompanhamento traçadas para o reservatório.

Avaliando-se as causas da situação de escassez no caso do Distrito Federal à semelhança do que ocorreu em São Paulo, ganha destaque a pluviosidade da região que abriga o reservatório do Rio Descoberto. Esta esteve abaixo da média, o que causou a redução da afluência no reservatório. A redução de afluência foi ainda intensificada pela maior demanda nos corpos hídricos para atender a irrigação em períodos de menores chuvas.

Os dados monitorados de chuva, conforme se observa na Figura 3, confirmam essa redução de pluviosidade. A combinação de chuvas abaixo da média, altas temperaturas, captações clandestinas, presença de outras demandas competitivas, crescimento populacional com crescimento de demanda da CAESB (Figura 4) e ausência de obras estruturantes por mais de 16 anos, são apontadas como causas da crise instalada (ANA, 2017).

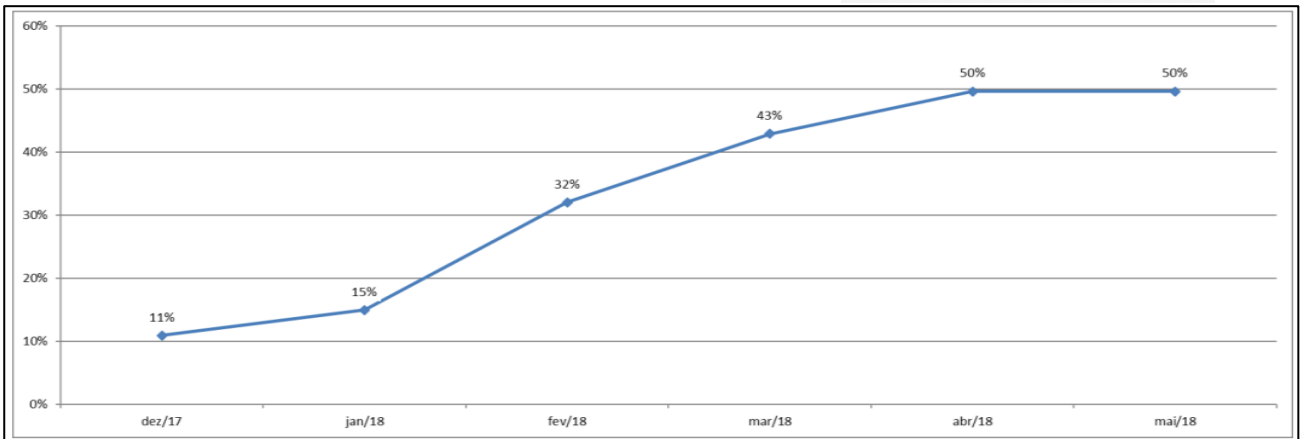


Figura 2. Curva de acompanhamento de percentual de volume mínimo do Reservatório Descoberto.
Fonte: ADASA, 2017b.

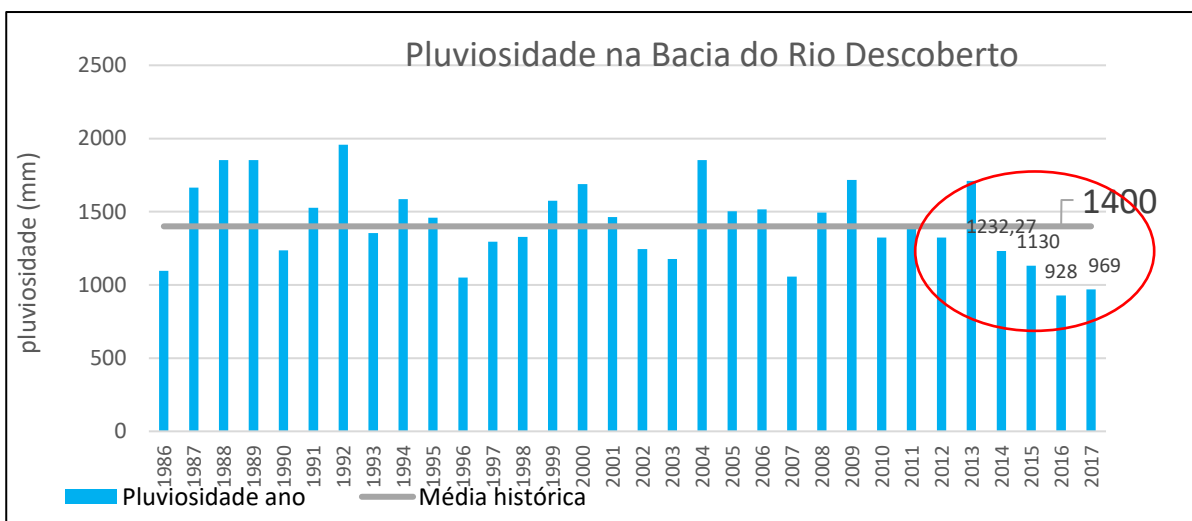


Figura 3. Representação da pluviosidade anual histórica em mm na Bacia do Rio Descoberto.
Fonte: estações pluviométricas da ADASA, CAESB, HIDROWEB.

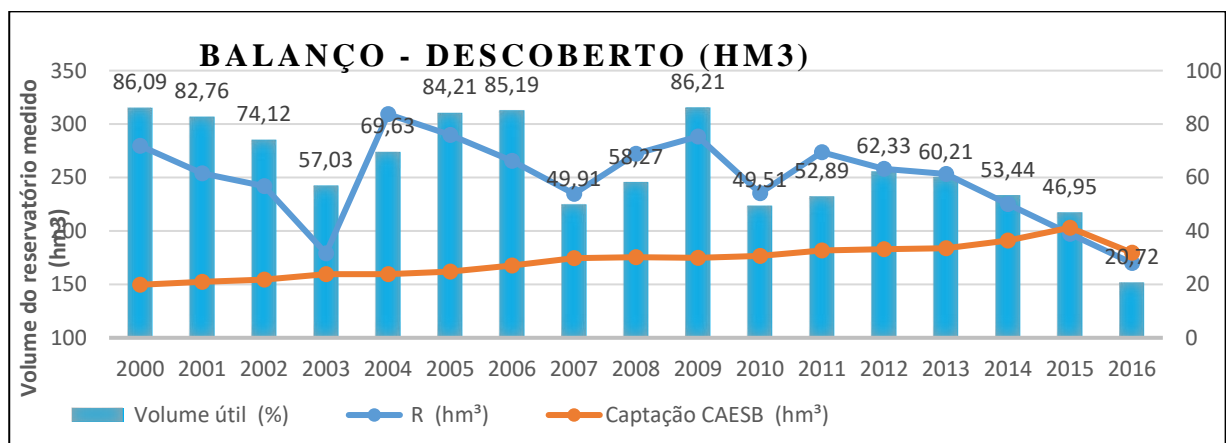


Figura 4. Balanço anual do reservatório, mostrando volume útil do reservatório em hm e em percentual, o volume de entrada de água no reservatório em hm³ (R) e o volume captado no reservatório. Fonte: Dados ADASA, CAESB, HIDROWEB.

Observa-se, a partir do gráfico da Figura 3, uma sequência de quatro anos com pluviosidade abaixo da média, iniciando em 2014 e perdurando até 2017. Na série de 31 anos disponível para

análise, trata-se da sequência mais longa observada com precipitação anual total abaixo da média. É interessante notar também que a série de 2010 a 2012 também é inferior à média, o que contribuiu para que o reservatório Descoberto não tenha recuperado o armazenamento em 2013, iniciando o ano de 2014 já em condições desfavoráveis. Esse aspecto é confirmado na Figura 4, que mostra que reservatório já havia iniciado um declínio gradual no volume armazenado desde o período seco anterior, em 2011. Esse fator, associado à capacidade do reservatório do Rio Descoberto e ao aumento de demanda para irrigação e abastecimento urbano são fatores adicionais que justificam a situação de crise instalada, como se observa a partir do gráfico da Figura 3.

As citadas ações de restrição e regulamentação, fiscalização, definição de prioridades, alocação, ampliação de infraestrutura, alterações de regras de reservatório, gestão de volumes mortos, redução nas pressões da rede e perdas na distribuição, são as mesmas apontadas como medidas de gestão aplicadas em contexto de outras crises no país (ANA,2017). Observa-se ao avaliar as ações adotadas durante a crise que essas foram de mitigação, como a redução de autorização para captações, o racionamento e a busca de fontes de aporte hídrico externo para reforço do sistema. Como eventos de seca são recorrentes e esperados, é clara a necessidade de construção de medidas adicionais de longo prazo elaboradas de forma preventiva, com o objetivo de melhorar a confiabilidade do sistema de abastecimento de água.

A seleção da combinação de medidas de longo prazo e curto prazo será mais eficiente se realizada através de análise de decisão multicritério (ROSSI; CANCELLIERE; GIULIANO, 2005). Pelo exposto, a crescente competição por água, as crises em razão da falha de sistemas hídricos e a sua escassez indicam que as gestões distritais e nacionais devem ser melhoradas (GEORGE et al., 2011b). Nesse contexto, o uso de indicadores é de grande utilidade ao gestor de águas, uma vez que permite avaliar o desempenho do sistema (e de eventuais medidas de resposta) de forma quantitativa, tornando o monitoramento um elemento efetivo para a gestão. Os resultados, medidos na forma de indicadores, servirão para embasar decisões e ações práticas para evitar ou mitigar as falhas, levando em conta também aspectos econômicos e ambientais da água.

Ações de gestão, planejamento, execução e monitoramento devem ser desenvolvidas a partir de critérios, indicadores, séries métricas e algoritmos capazes de avaliar o desempenho (GOHARIAN et al., 2017). O desempenho de um sistema hídrico quanto ao atendimento de demandas de abastecimento urbano pode ser avaliado a partir de indicadores de desempenho que descrevem as características de falha, como frequência, duração e gravidade. Nesse contexto, os indicadores de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade caracterizam o risco no contexto do planejamento e do sistema hídrico (SRINIVASAN et al., 1999).

Conceitualmente, confiabilidade é a frequência ou a probabilidade que um sistema possui de ser satisfatório, às vezes entendido como o oposto do risco; resiliência é descrita como quão rápido um

sistema pode se recuperar da falha e vulnerabilidade se refere a magnitude da falha, quando esta ocorre (HASHIMOTO; LOUCKS; STEDINGER, 1982).

Segundo Hashimoto, Loucks, Stedinger (1982), os indicadores de desempenho são úteis na avaliação da capacidade do sistema hídrico, suas configurações, políticas operatórias e objetivos, servindo de guia para a tomada de decisão e consideração dos riscos envolvidos nas escolhas. O **índice de sustentabilidade** é então construído a partir de indicadores de performance, como proposto por Sandoval-Solis et al. (2011). Esse **índice de sustentabilidade** reflete, de um modo geral, o quão bem as demandas hídricas estão sendo atendidas, considerando-se a frequência, magnitude e duração das falhas no seu atendimento. Dessa forma, é possível avaliar e comparar o resultado de diferentes ações e políticas de gestão da água, de forma que os resultados positivos alcançados pelo uso dos índices permitam a melhora da gestão da água da bacia.

Os indicadores e índices foram calculados conforme as equações 01, 02, 03, 04 e 05.

$$Resiliência = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \right\}^{-1} \quad (01)$$

$$Confiabilidade \text{ volumétrica} = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} \text{demanda hídrica entregue}, t}{\sum_{t=1}^{t=n} \text{demanda hídrica alvo}, t} \quad (02)$$

$$Vulnerabilidade = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} D_t^i / \text{Nº de vezes que } D_t^i > 0}{\text{demanda hídrica}} \quad (03)$$

$$SI = [\text{Confiabilidade}^i * \text{Resiliência}^i * (1 - \text{vulnerabilidade}^i)^{1/3}] \quad (04)$$

$$SG^k = \sum_{i=j \in k}^{i=j \in K} \frac{\text{demanda } i}{\text{demanda } k} * SI_i \quad (05)$$

Fonte: SANDOVAL-SOLIS *et al.*, 2011; OLIVEIRA e SANDOVAL-SOLIS, 2017 e HOQUE *et al.*, 2012.), onde T o tempo de duração da simulação ou tamanho do registro observado, d(j) representa a duração da falha, $D_t^i > 0$ é maior que zero quando a demanda não é atendida, e $D_t^i = 0$ quando há atendimento da demanda, n é número de intervalos de tempo da simulação ou do registro observado. SI indicador de sustentabilidade individual, SG indicador de sustentabilidade, e k representa o grupo

OBJETIVO

Este trabalho busca avaliar, com base em indicadores e índices, a sustentabilidade do Sistema hídrico da Bacia do Rio Descoberto frente a diferentes cenários. Os resultados permitem ainda mostrar a aplicação de indicadores e índices de sustentabilidade produzidos com a simulação do sistema em um software de modelagem para o planejamento (WEAP).

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido considerando-se as etapas representadas na Figura 5

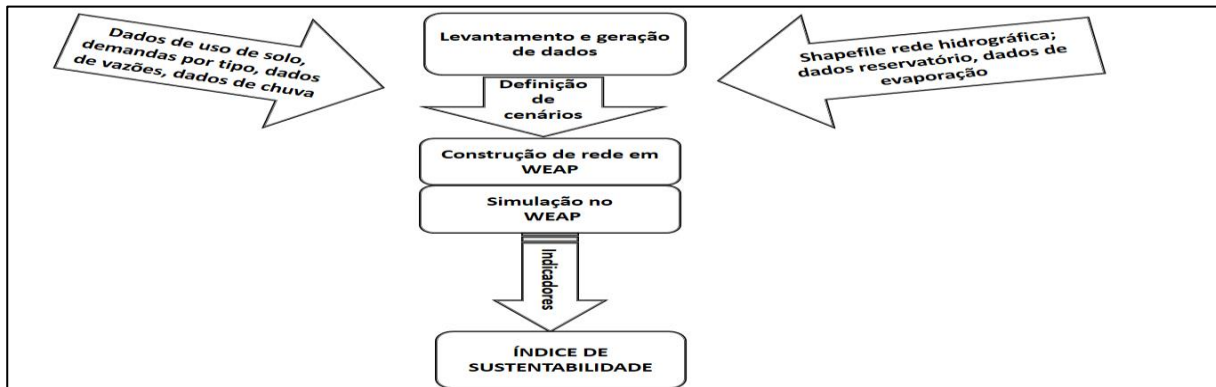


Figura 5. Representação esquemática da metodologia.

Para avaliar a sustentabilidade do sistema Descoberto, foram criados diferentes cenários, buscando explorar a efetividade de determinadas medidas de adaptação e mitigação do sistema para condições futuras e, mais importante ainda, mostrar como índices quantitativos de sustentabilidade podem ser empregados para avaliar se as medidas são de fato efetivas. Dessa forma, os cenários consideram alterações de demanda urbana e de agricultura, alterações na infraestrutura de oferta hídrica, além de cenários para avaliação da atuação do ente gestor de recursos hídricos em momentos de crise.

No presente trabalho, são apresentados apenas os resultados do cenário base, baseado em dados medidos de vazão em estações fluviométricas dos rios referentes ao período 1986 a 2017; de evaporação (dados de 1986 até 2017); de características físicas do reservatório e volume observado referentes ao período 1986 a 2017; de área irrigada para o ano de 2014; de projeção de demandas tendo por base área irrigada de 2014; demandas da CAESB, de vazões de retorno, de vazões naturais simuladas e de projeções de vazões consumidas. No cenário base buscou-se verificar a fidedignidade da reconstrução de vazões e avaliar o comportamento do sistema tal qual ele ocorreu. Ressalta-se que nesse cenário não foram aplicadas as restrições de captação aos irrigantes impostas pela ADASA. A não aplicação para irrigantes é justificada nos resultados do volume do reservatório simulado versus o volume observado, constante na Figura 7. As vazões captadas pela CAESB no reservatório foram as praticadas no período, ou seja, as vazões continham restrições, mas não exatamente as impostas pelas Resoluções ADASA. Quanto as captações da CAESB nos demais pontos, adotou-se vazão outorgada.

Um mapa esquemático do sistema estudado aparece na Figura 6.

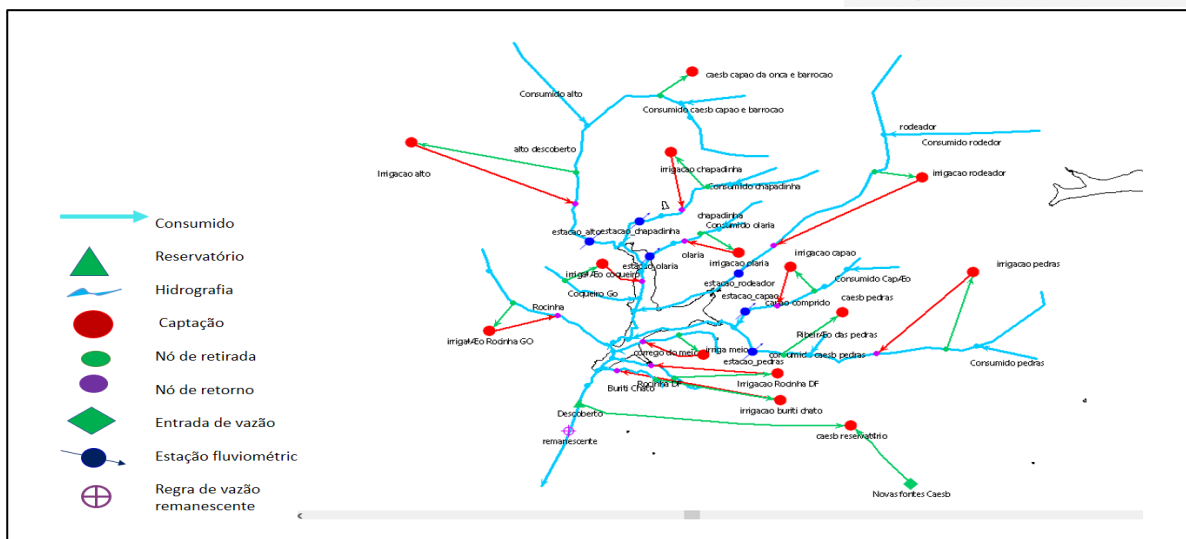


Figura 6. Esquema de representação no WEAP. Fonte: WEAP.

Os cenários foram construídos no sistema WEAP. O WEAP realiza o balanço de massa em cada elemento do sistema e emprega um algoritmo de programação linear para minimizar a diferença entre as demandas do sistema e a quantidade de água fornecida ao longo do período de simulação. Cada demanda representada no sistema possui uma prioridade, esta valoração define se uma demanda é atendida antes ou após as demais, e uma escala de preferências, que determina, dentre as fontes de abastecimento de água às quais tem acesso, aquelas que são utilizadas primeiro (MALIEHE, MULUNGU, 2017; HOLLERMAN GIERTS, DIEKKRUGER, 2010; GEORGE et al., 2011a). O cálculo do balanço de massa no WEAP é realizado para a água considerando-se cada nó e cada arco do sistema em um passo de tempo mensal. A água é direcionada para atender às demandas modeladas, sujeita às restrições impostas pelas prioridades, preferências e balanço de massa, dentre outras

RESULTADOS

Sistema modelado

A avaliação dos resultados inicia-se com a verificação do volume armazenado no reservatório simulado vs. observado. A proximidade entre as curvas observadas e simuladas de volume do reservatório indicam que a construção dos dados de vazão, consumo e demanda do sistema modelado resultaram em uma simulação de volumes armazenados próxima aos resultados observados. Esses resultados também indicam um possível não cumprimento por parte dos irrigantes das restrições de captação impostas pelas Resoluções ADASA.

A avaliação visual do volume simulado do sistema modelado frente volume observado para o cenário base pode ser realizada na Figura 8, este mostra-se adequado para o período estudado. Não há alinhamento perfeito, fato esperado para um sistema reconstruído, mas a reconstrução permite o avanço na avaliação dos indicadores. Observa-se que demanda está subdimensionada para o ano de 2014, e segue assim para anos posteriores, com exceção do ano de 2014 quando esta está superdimensionada. Isso sugere que pode não ter havido crescimento de demanda ou houve ampliação de evapotranspiração no período de reduzida pluviosidade iniciado em 2014 e seguido até 2017. A avaliação estatística da simulação foi realizada a partir do cálculo do coeficiente de Nash-

Sutcliffe (CNS). O sistema modelado do cenário base no WEAP deste estudo resultou em um CNS 0,745. O índice encontrado é considerado muito bom, apesar do sub-dimensionamento de demanda identificado nos períodos secos. O Resultado do CNS dá suporte para o cálculo dos indicadores e índices propostos para os diferentes cenários.

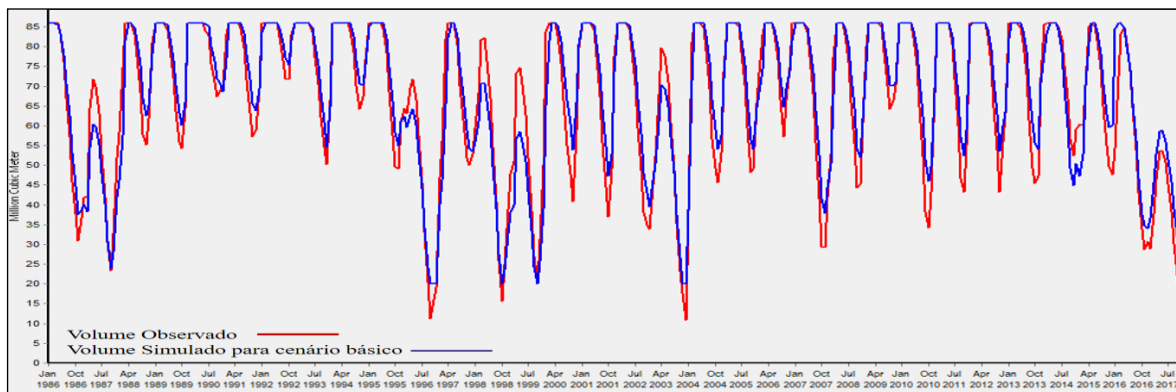


Figura 7. Gráfico comparativo do volume observado e volume simulado para cenário básico em milhões de m³.

Individualmente, cada ponto de captação considerado possui diferentes características, quando se avalia os indicadores. O Ponto referente ao Buriti Chato é o mais vulnerável, a irrigação no Rocinha a mais confiável, e as captações da CAESB as mais resilientes. A avaliação por meio de indicadores serve de guia para tomada de decisão considerando o seu efeito na sustentabilidade² do sistema com menores impactos. Da Figura 8 observa-se que o sistema perde 17 % de sustentabilidade no período crítico.

Tabela 2. Resultados dos indicadores e SI.

Ponto de captação	PERÍODO DO TOTAL				PERÍODO CRÍTICO				
	Resiliência	Confiabilidade Volumétrica	Vulnerabilidade	SI	Resiliência	Confiabilidade Volumétrica	Vulnerabilidade	SI	
Irrigacao Rocinha DF	0,857	0,992	0,008	0,945	0,000	1,000	0,000	0,000	
Irrigacao alto	0,383	0,953	0,047	0,703	0,222	0,792	0,208	0,518	
caesb capao da onca e barroco	0,789	0,998	0,002	0,923	1,000	1,000	0,000	1,000	
caesb pedras	0,833	0,997	0,003	0,939	0,000	1,000	0,000	0,000	
caesb reservatório	0,300	0,997	0,003	0,668	0,154	1,000	0,000	0,536	
irriga meio	0,647	0,986	0,014	0,857	0,000	1,000	0,000	0,000	
irrigacao buriti chato	0,178	0,789	0,211	0,480	0,148	0,750	0,250	0,437	
irrigacao capao	0,189	0,797	0,203	0,493	0,125	0,651	0,349	0,376	
irrigacao chapadinha	0,733	0,990	0,010	0,896	0,200	0,942	0,058	0,562	
irrigacao olaria	0,003	1,054	0,136	0,133	0,021	0,869	0,308	0,232	
irrigacao pedras	0,750	0,992	0,008	0,903	0,333	0,956	0,044	0,673	
irrigacao rodeador	0,003	0,580	0,610	0,084	0,021	0,550	0,626	0,162	
irrigação Rocinha GO	0,091	0,997	0,003	0,450	0,114	1,000	0,000	0,485	
irrigação coqueiro	0,432	0,997	0,003	0,754	0,600	1,000	0,000	0,843	
Sistema	0,442	0,937	0,097	0,659	0,226	0,894	0,132	0,416	

² Lembrando que **sustentabilidade** aqui reflete, de um modo geral, o quão bem as demandas hídricas estão sendo atendidas, considerando-se a frequência, magnitude e duração das falhas no seu atendimento

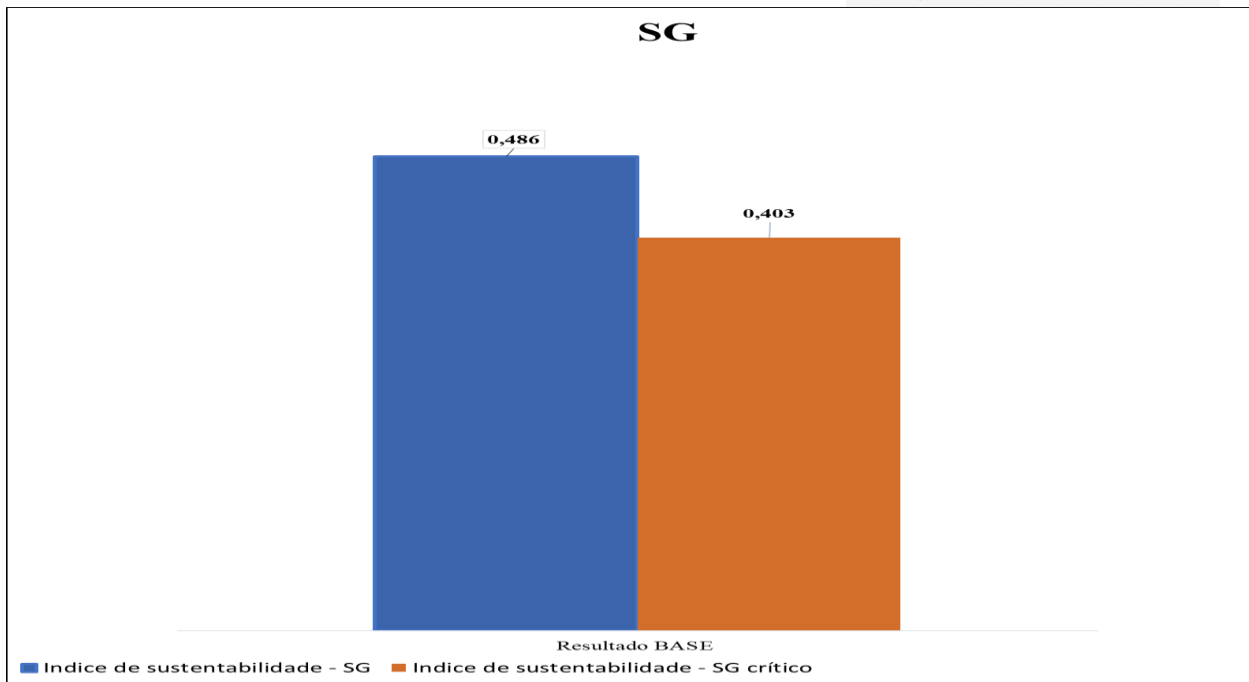


Figura 8. Gráfico com valores de SG

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação constante de indicadores permitirá ao gestor saber se as medidas de mitigação e adaptação, bem como os instrumentos de gestão, estão sendo efetivos. Toda essa avaliação proporciona ao gestor a capacidade de agir preventivamente, se antecipando a potenciais problemas futuros e fazendo gestão dos riscos. O emprego de ferramentas de simulação como a que foi utilizada nesse trabalho é um exemplo de como isso pode ser feito explorando diferentes cenários possíveis no futuro. Ressalta-se que as restrições aplicadas por meio de Resoluções não foram plenamente cumpridas, fato observável a partir do volume medido versus volume simulado no reservatório na Figura 7. Isso ressalta que as medidas são de difícil acompanhamento pelo órgão gestor.

O impacto de medidas como o racionamento sobre demandas urbanas crescentes será ainda maior e as perdas do setor produtivo podem ser significativas. Nesse contexto, é cada vez mais urgente a necessidade de planejamento de ações diferentes para cenários de crise no futuro, uma vez que repetir as soluções atuais não tornará o sistema mais bem adaptado. Finalmente, é também necessária a avaliação prévia de ações propostas por meio de indicadores e índices que possam mostrar de forma quantitativa os possíveis resultados dessas ações. Concluímos que do emprego de indicadores de performance e índices de gestão apresenta potencial ainda não explorado para a gestão de recursos hídricos, especialmente no que se refere à sua aplicação para avaliação de decisões e impactos de medidas empregadas antes e durante crises hídricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA (2016). Declara a Situação Crítica de Escassez Hídrica nos Reservatórios do Descoberto e de Santa Maria. Resolução nº 015/2016, de 16 de setembro de 2016. Disponível em <http://www.ADASA.df.gov.br/regulacao/resolucoes-e-estudos>. Acesso em 10 de junho de 2017.

ADASA (2017 a). Resolução Conjunta ADASA/SECIMA/ANA nº 01, de 06 março de 2017. Disponível em http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Minuta_Res_Conjunta_Adasa_Secima_Ana.pdf. Acesso em 08 de julho de 2018.

ADASA (2017 b). Limita a Vazão Captada pela CAESB no Descoberto Resolução nº 01/2017, de 15 de fevereiro de 2017. Disponível em <http://www.ADASA.df.gov.br/regulacao/resolucoes-e-estudos>. Acesso em 10 de junho de 2017.

ADASA (2017 c). Estabelece curva de acompanhamento de metas estabelecidas para o reservatório do Descoberto durante o período o período hidrológico chuvoso 2017/2018. Resolução 26, de 07 de dezembro de 2017. Disponível em http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/revogacao_res262017.pdf. Acesso em 08 de julho de 2018.

ADASA- UNESCO (2018) – Relatório de Consultoria UNESCO PRODOC 914BRZ2016 – Edital 05/17. **Modelagem hidrológica da bacia do alto descoberto, Consultora:** Patrícia Monteiro. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/regulacao/estudos>. Acesso em 23 de outubro de 2018

ADASA (2018). Disponível em <http://www.adasa.df.gov.br/abastecimento-de-agua-e-esgoto/fiscalizacao/sistema-de-esgotamento-sanitario>. Acesso em 29 de abril de 2018.

ADASA (2018 a). Relatório anual de atividades – Superintendência de Recursos Hídricos. http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/monitoramento/Relatorio_Anual_Atividades_2017.pdf. Acesso em dezembro de 2018.

ANA, Conjuntura recursos hídricos no brasil, Encarte Especial sobre a Crise Hídrica, **Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**, 168 p, 2017.

GOHARIAN, Erfan, et al. Vulnerability Assessment to Support Integrated Water Resources Management of Metropolitan Water Supply Systems. **Journal of Water Resource Planning, Management**, 143(3), p.1-1, 2017.

HASHIMOTO, T; LOUCKS, D.P; STEDINGER, J.R. Reliability, Resiliency, Robustness, and Vulnerability Criteria for Water Resource Systems. **Reprinted with permission from Water Resources Research** 18(1), p. 14-26; 1982.

HOQUE, Yamen M.; TRIPATHI, Shivam; HANTUSH, Mohamed, M.; GOVINDARAJU, Rao S. Watershed reliability, resilience and vulnerability analysis under uncertainty using water quality data. **Journal of Environmental Management**, 109, p. 101-112, 2012.

IBGE, 2016. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm, acesso em 23 de julho de 2017.

ROSSI, Giuseppe; CANCELLIERE, Antonino; GIULIANO, Giuseppe. Case Study: Multicriteria Assessment of Drought Mitigation Measures. **Journal of Water Resources Planning and Management**, p 449 - 457, 2005.