

## Avaliação da demanda futura de água na bacia hidrográfica do rio Umbeluzi em Moçambique

### Assessment of future water demand in the Umbeluzi river basin in Mozambique

*Pedro Francisco Notisso<sup>1</sup>*

*Klebber Teodomiro Martins Formiga<sup>2</sup>*

Recebido: set.2020 | Aceito: fev.2021

#### Resumo

A gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Umbeluzi é uma questão fundamental devido ao agravamento de escassez de água nos centros urbanos e na agricultura que pode por em causa os valores socioculturais, ecológicos e econômicos. Torna-se ainda mais importante o fato de ser uma bacia internacional, cuja demanda por água tem aumentando em função de expansão agrícola, crescimento populacional e possíveis falhas no gerenciamento integrado dos recursos hídricos. O estudo avaliou a alocação de água superficial para atender às diferentes necessidades utilizando o modelo *Water Evaluation and Planning System* – WEAP. O modelo foi validado no período 2005-2011 apresentando o NSE de 0,69 e Bias de 5,2% no volume do reservatório e 2005 com Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) de 6,7 e Bias de 6,0% na vazão. Quatro cenários foram avaliados tendo em conta os setores doméstico, agrícola e industrial. Os resultados mostram que a demanda não atendida é de 33,6 hm<sup>3</sup> e 57,3 hm<sup>3</sup> no abastecimento doméstico e de 3,5 hm<sup>3</sup> e 7,4 hm<sup>3</sup> na indústria para os cenários de Referência e Maior Crescimento em 2040. A demanda não atendida na agricultura é estimada em 12,9 hm<sup>3</sup> e 22 hm<sup>3</sup> em 2040. Esses resultados enfatizam a necessidade de implementação de estratégias de gestão de lado de demanda para minimizar os impactos de escassez de água no baixo Umbeluzi.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos, Demanda hídrica, Rio Umbeluzi, Modelo WEAP.

#### Abstract

The management of water resources in the Umbeluzi River basin is an important issue due to the worsening of water scarcity in urban centres and in agriculture, which can jeopardize socio-cultural, ecological and economic values. Even more important is the fact that it is an international basin, whose demand for water has been increasing due to agricultural expansion, population growth and possible failures in the integrated management of water resources. The study evaluated the allocation of surface water to meet different needs using Water Evaluation And Planning (WEAP) model. WEAP model was validated in the period from 2005 to 2011 with NSE of 0.69 and Bias of 5.2% in the volume of the reservoir and 2005 with an NSE of 6.7 and Bias of 6.0% in the flow. Four scenarios were evaluated taking into account the domestic, agricultural and industrial sectors. The results show that the unmet demand is 33.6 hm<sup>3</sup> and 57.3 hm<sup>3</sup> in domestic supply and 3.5 hm<sup>3</sup> and 7.4 hm<sup>3</sup> in industry for the Reference and Highest Growth scenarios in 2040. In agriculture, unmet demand is estimated at 12.9 hm<sup>3</sup> and 22 hm<sup>3</sup> in 2040. These results emphasize the need to implement demand-side management strategies to minimize the impacts of water scarcity.

**Keywords:** Water resources, Water demand, Umbeluzi river, WEAP model.

<sup>1</sup>Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique, pedro.notisso@gmail.com

<sup>2</sup>Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, kleber.formiga@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Atualmente, muitos países de África Sub-Sahariana estão enfrentando muitos desafios ligados aos recursos hídricos (NGORAN *et al.*, 2016) devido à expansão agrícola, à urbanização, ao crescimento populacional, ao aumento do padrão de vida (WADA; BIERKENS, 2014) e aos efeitos adversos das mudanças climáticas.

Estudos recentes demonstraram que mudanças climáticas, crescimento populacional, captação extensiva de água e mudança no uso do solo são os principais desafios que alteram o regime hidrológico natural na maioria das bacias hidrográficas de África, incluindo a bacia do rio Umbeluzi (JUÍZO E LÍDEN, 2010; DROOGERS *et al.*, 2014), a sub-bacia de Didessa (ADGOLIGN *et al.*, 2015), a bacia do Drâa (JOHANNSEN *et al.*, 2016), a bacia do rio Mara (BHAVE *et al.*, 2018) e a bacia de Wami Ruvu (MIRAJI *et al.*, 2019).

A preocupação com a garantia de segurança hídrica, em particular para abastecimento doméstico, é crescente no sul de Moçambique tendo em conta o cenário atual, especialmente devido ao agravamento de escassez de água. A crise hídrica que assola os centros urbanos ocorre principalmente em função da expansão urbana motivada por crescimento populacional, mudanças no uso do solo e expansão agrícola (JUÍZO; LÍDEN, 2010; DROOGERS *et al.*, 2014) apresentando nas últimas décadas desequilíbrios entre a disponibilidade e necessidades. Isso leva a desafios no gerenciamento da demanda de água em regiões de rápido crescimento populacional devido à alta variabilidade espacial e temporal de recursos hídricos (ZEINALI *et al.*, 2020). As estratégias de gerenciamento da água do lado da demanda são mais acessíveis na mitigação de impactos de escassez, reduzindo as demandas anuais de água (MIRAJI *et al.*, 2019).

Para gerenciar sistemas hidrológicos vulneráveis, bem como influências sociais e seus conceitos de gestão são necessários modelos eficazes de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos (GIRH) (NGORAN *et al.*, 2016). A GIRH reconhece que há usos concorrentes de água que geralmente estão conectados e inter-relacionados (MALIEHE; MULUNGU, 2017). Assim, a simulação matemática é de grande utilidade porque permite representar o funcionamento do sistema de forma bastante realista (SIMÕES; OLIVEIRAS, 2010). Vários modelos são utilizados na modelagem dos recursos hídricos, no entanto, a maioria dos modelos de bacias hidrográficas não possui ferramentas de cenários embutidas, que são atraentes para o planejamento e gerenciamento de alocação de água. Muitos pesquisadores fizeram estudos sobre alocação dos recursos hídricos em diferentes escalas espaciais e temporais em todo o mundo (MCCARTNEY *et al.*, 2004; SWECO; ASSOCIATES, 2005; ARRANZ; MCCARTNEY, 2007; JUÍZO; LÍDEN, 2010; DROOGERS *et al.*, 2014; JOHANNSEN *et al.*, 2016; OMAR; MOUSSA, 2016; BHAVE *et al.*, 2017). Esses estudos indicaram que a avaliação dos recursos hídricos foi realizada nas escalas de bacia e sub-bacia hidrográficas em muitos países para um melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. O modelo WEAP (*Water Evaluation And Planning System*) é considerado o método disponível mais adequado para GIRH no nível de bacia, devido ao seu suporte robusto à tomada de decisões, recurso de geração de cenários, baixa intensidade de dados e capacidade de lidar com as demandas agregadas e desagregadas de gerenciamento de água de vários setores (PURKEY *et al.*, 2009; SEI, 2015; FAIZ *et al.*, 2018).

A gestão sustentável dos recursos hídricos é desafiante quando uma região sofre com a escassez e apresenta uma crescente demanda antrópica por água (HASSAN *et al.*, 2017). Uma situação de estresse hídrico em uma bacia hidrográfica não ocorre instantaneamente, é um fenômeno que se desenvolve ao longo do tempo (ADGOLIG *et al.*, 2016). É útil fazer análise de alocação de água antes ou após a manifestação de sintomas de escassez de água, pois leva

ao desenho de políticas de gestão dos recursos hídricos na bacia. Conhecer a disponibilidade e as respectivas demandas de água ajuda a melhorar a sua gestão e distribuição para os usuários (HUSSEN *et al.*, 2018; CONCEIÇÃO, 2018). Segundo Droogers *et al.* (2014) com o aumento da demanda espera-se que a competição por água aumente na bacia. Os usuários de água geralmente têm objetivos conflitantes, sendo necessário a aplicação de modelo na modelação dos recursos hídricos da bacia (JUÍZO; LÍDEN, 2010).

Para a bacia hidrográfica do rio Umbeluzi (BRU) estudos desta natureza são escassos, destacando-se os trabalhos de Juízo e Líden (2010) e Droogers *et al.* (2014). O primeiro está um pouco desatualizado e o segundo não estimou o volume da demanda não atendida. Ao contrário dos estudos anteriores, este trabalho simula os impactos da demanda de água superficial e estima o volume da demanda não atendida no baixo Umbeluzi. Informações deste tipo são de extrema importância no suporte de decisões de planejamento de recursos hídricos (CU; BALL, 2017; VENZON *et al.*, 2018), reforçando a relevância da sua aplicação nessa bacia. Para além disso, enfatiza-se sua importância em estudos de estimativa de uso do solo (BLAINSKI *et al.*, 2017; CASTRO; MACHADO, 2019). Assim, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a capacidade do sistema hídrico em satisfazer as demandas hídricas dos setores doméstico, agrícola e industrial no baixo Umbeluzi.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

Moçambique é um país situado na parte sul do continente africano, com uma área total de cerca de 800.000 km<sup>2</sup>, no interior é limitado pela Tanzânia, Malawi, Zâmbia, Zimbabwe, Suazilândia e África do Sul, no lado leste pelo Oceano Índico. Umbeluzi é uma bacia internacional, compartilhada por três países, Suazilândia, África do Sul e Moçambique (Figura 1). Tem uma área total de 5.460 km<sup>2</sup> sendo que 2.184 km<sup>2</sup> em Moçambique (SWECO; ASSOCIATES, 2005). É uma bacia estratégica, pois é responsável pelo abastecimento de água as capitais de Suazilândia e de Moçambique e seus arredores.

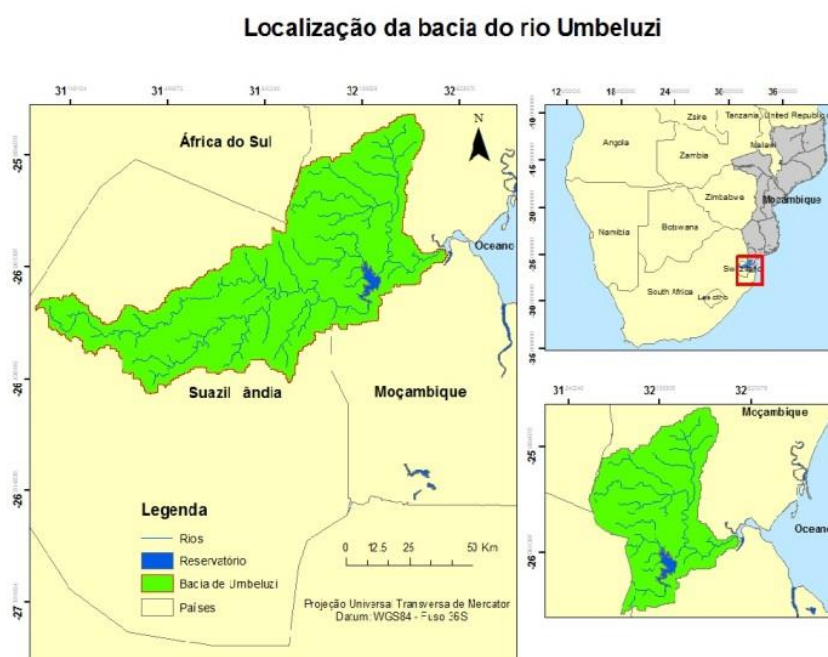


Figura 1- Localização da área de estudo

A parte moçambicana da bacia (baixo Umbeluzi) está localizada inteiramente na província de Maputo e os afluentes são o rio Calichane e o rio Movene, respectivamente, a montante e a jusante do reservatório. O reservatório dos Pequenos Libombos se localiza no rio Umbeluzi, na parte moçambicana, é responsável por abastecimento de água a cerca de 1,7 milhões de habitantes nas cidades de Maputo, Matola e distrito de Boane em Moçambique (ARA-Sul, 2014). Segundo ARA-Sul (2014) a área irrigada registrada é de 3.362 ha, apresentando um consumo médio de água de 9.181 m<sup>3</sup>/ha/ano (DROOGERS *et al.*, 2014). A precipitação média anual é de 800 mm, variando de 600 mm no litoral a 1000 mm na cordilheira dos Libombos, no interior (ARA-Sul, 2014). A vazão afluente é de 11,24 m<sup>3</sup>/s (ARA -Sul, 2010).

### Etapas de modelagem

A primeira etapa se deu com a construção da rede no WEAP. Foram utilizados os planos de informação em formato vetorial dos rios que estão dentro do limite da bacia. A partir da inserção desses planos de informação foi possível desenhar o traçado dos rios, os locais de consumo, o reservatório, nó de medição de vazão de saída do reservatório e nó de vazão mínima ecológica (Figura 2).

A segunda etapa consistiu na definição de dados de entrada no modelo. A Tabela 1 mostra a demanda anual na bacia em dois períodos distintos. Os dados referentes à população (Tabela 2), áreas irrigadas e indústrias foram inseridos no modelo. As características do reservatório, os fluxos afluente e efluente, o consumo *per capita* de água fazem parte de um rol de dados necessários para a simulação. Para informação detalhada sobre dados de entrada pode-se ver Yates *et al.* (2005); SEI (2015).

Tabela 1 – Demanda anual de água no baixo Umbeluzi (SWECO e ASSOCIATES, 2005; ARA-Sul, 2014)

| Setor de demanda | Volume (hm <sup>3</sup> ) |              | Porcentagem |            |
|------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------|
|                  | 2005                      | 2014         | 2005        | 2014       |
| Abastecimento    | 75,0                      | 91,1         | 77,3        | 66,1       |
| Irrigação        | 17                        | 22,9         | 17,6        | 16,6       |
| Indústria        | 1,5                       | 8,1          | 1,6         | 5,8        |
| Ecologia         | 3,7                       | 15,7         | 3,5         | 11,4       |
| <b>Total</b>     | <b>97,0</b>               | <b>137,8</b> | <b>100</b>  | <b>100</b> |

A água superficial foi definida como única fonte de fornecimento de água para todos os locais de demanda. Segundo Arranz e McCartney (2007) a estrutura de dados e o nível de detalhe podem ser personalizados para corresponder aos requisitos de uma análise específica e restrições impostas por dados limitados. Portanto, a demanda para cada setor doméstico, agrícola e industrial foi agrupada num único nó de demanda conforme estratégia adotada por Omar e Moussa (2016).

Tabela 2 – População de baixo Umbeluzi (INE, 2007)

| Descrição           | Maputo    | Matola  | Boane  | Total     |
|---------------------|-----------|---------|--------|-----------|
| População           | 1.084.636 | 515.734 | 92.461 | 1.693.831 |
| Taxa de crescimento | 1,2       | 2,1     | 2,6    | 2,0       |

De acordo com Arranz e McCartney (2007) o modelo WEAP é aplicado configurando o sistema para simular um ano base, para o qual a disponibilidade de água e as demandas podem ser determinadas com confiança. As simulações foram executadas mensalmente, o ano 2005 foi escolhido como o ano base, por motivos de disponibilidade de dados e por ser considerado um ano sem muitas alterações no sistema como um todo. Todos os locais de demanda são atribuídas prioridades que variam de 1 a 99, sendo 1 a prioridade mais alta e 99 a mais baixa. Quando a água é limitada, um algoritmo é formulado para restringir progressivamente a alocação de água a esses locais de demanda, dada a menor prioridade (YATES *et al.*, 2005; CCG-UCC; SEI, 2009). Foi adotada a prioridade 1 para todos os locais de demanda, incluindo a vazão mínima ecológica (Figura 2), regras de prioridade utilizadas no estudo de Droogers *et al.* (2014). A avaliação da capacidade de satisfação das necessidades de água foi feita definido o valor mínimo de armazenamento do reservatório de 82.73 hm<sup>3</sup> abaixo desse volume começam as restrições de distribuição de água (ARA -SUL, 2010).

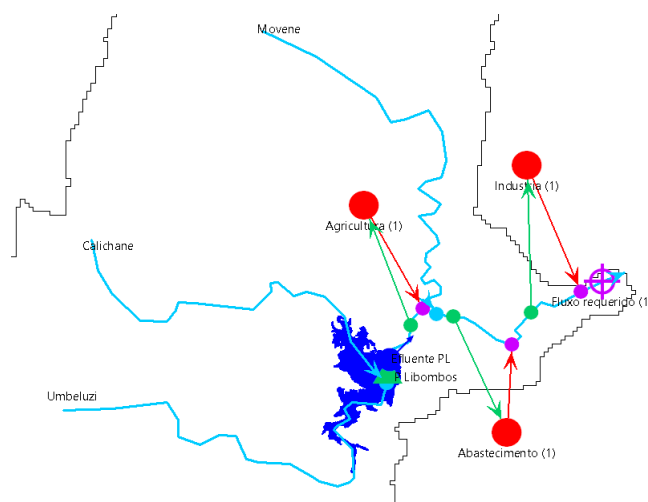


Figura 2 - Esquematização do modelo de alocação de água

A terceira etapa foi o desenvolvimento de cenários de impacto que correspondem ao período de 2018 a 2040. Para o alcance do objetivo deste artigo, foram testados quatro cenários de impacto, onde cada cenário é definido pelo período de simulação, por um conjunto de aflúências e um conjunto de necessidades (YATES *et al.*, 2005). A elaboração de cenários seguiu a abordagem adotada por Droogers *et al.* (2014); Leong e Lai (2017).

Cenário de Referência - foi modelado e projetado nas condições do ano 2005. O reservatório foi considerado como tendo volume inicial de 325,26 hm<sup>3</sup>. Este cenário, levou em consideração os seguintes pressupostos: crescimento populacional (1,3%), aumento da área agrícola (0,1%) e aumento de indústrias (0,8%).

Cenário Menor Crescimento - descreve uma situação de crescimento lento da população, da área agrícola e indústrias com 1,4; 0,2 e 1,2%, respectivamente.

Cenário Médio Crescimento - apresenta os seguintes pressupostos: crescimento populacional (1,6%), Aumento da área agrícola (0,3%) e aumento de indústrias (1,8%).

Cenário Maior Crescimento - descreve uma situação de crescimento mais alto de locais de demanda, adotando um crescimento populacional de 2,0%, a área agrícola em 0,6% e indústrias em 2,5%.

Em seguida definiram-se os cenários hidrológicos, as condições hidrológicas observadas de 1986 a 2016 foram utilizadas para o futuro, selecionando para cada ano no futuro um ano aleatório no passado. Para isso, recorreu-se a distribuição empírica discreta e aplicando o método transformação inversa. Em relação à modelagem hidrológica foi utilizado o *Water Year Method* para gerar uma série de aflúências no sistema. Os anos hidrológicos são caracterizados por uma percentagem de precipitação em relação à média (CCG-UCC; SEI, 2009; SEI, 2015). Partindo desse pressuposto, foram determinados os coeficientes dos restantes anos hidrológicos: muito seco (0,65), seco (0,86), normal (1,0), chuvoso (1,1) e muito chuvoso (1,3).

Por último a calibração do modelo consistiu na escolha de coeficiente que mais se aproximasse do comportamento de vazão e volume observados, foi calculado o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) (Eq.1). Este coeficiente é definido por Leong e Lai (2017) como:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{o,i}$  = vazão simulada;

$Q_{s,i}$  = vazão observada;

$\bar{Q}_o$  = vazão média observada no período analisado.

Foi também calculado o Bias (Eq.2), que deve estar entre -5% e 5% e se define segundo CCG-UCC; SEI (2009) como:

$$Bias = 100 * [(\bar{Q}_s - \bar{Q}_o) / \bar{Q}_o] \quad (2)$$

Onde:

$\bar{Q}_s$  = vazão média simulada;

$\bar{Q}_o$  = vazão média observada.

Foram escolhidos os registros de vazão de 2005 e 2014 e precipitação de 2005 a 2017, que incluem os anos mais seco e mais chuvoso para avaliar o desempenho do modelo. Essa abordagem foi usada por Adgolign *et al.* (2016); Maliehe e Mulungu (2017); Miraji *et al.* (2019). O modelo foi calibrado manualmente por tentativa e erro, alterando os dados de entrada. Isso foi para maximizar o ajuste entre o volume observado e o simulado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tendência hidrológica

Para avaliar a mudança hidrológica na bacia foi analisada a tendência de precipitação anual da estação pluviométrica (P-425) e de vazão média anual da estação hidrométrica (E-10) dos últimos 49 anos (1968 – 2016) ambas da sub-bacia superior (fronteira) a montante do reservatório dos Pequenos Libombos.

Para confirmação dos resultados obtidos na análise exploratória de dados, foi adotada a abordagem estatística no software Trend considerando os níveis de significância de 5% e 1%. Observa-se na Tabela 3 a não significância estatística de precipitação, não demonstrando, no entanto, nenhuma tendência histórica de maior variabilidade. Este resultado é surpreendente, pois, esperava-se por tendência negativa à semelhança de Droogers *et al.* (2014) que encontraram tendência negativa na sub-bacia inferior (na foz), por outro lado, McClain (2013) não prevê mudança de precipitação média na parte oriental de África Austral, mas as chuvas deverão começar mais tarde e terminar mais cedo. Ao passo que na bacia hidrográfica de Bilate mostrou tendências distintas (HUSSEN *et al.*, 2018). Portanto, a não existência significativa de tendência obtido pelo Trend também pode estar associado aos picos máximos de chuva que ocasionam a ocorrência de tendência crescente no período (ano) chuvoso e ocorrência de tendência decrescente associado aos picos mínimos no período seco. A incerteza associada à precipitação futura é uma característica crítica na tomada de decisão (BHAVE *et al.*, 2018). A falta de tendência indica a necessidade de levar em consideração os efeitos da escala espacial nas variáveis hidrológicas (GUZHA *et al.*, 2018).

Tabela 3 - Teste de tendência

| Teste estatístico | Teste | $\alpha=0,05$     | $\alpha=0,01$ | Resultados |
|-------------------|-------|-------------------|---------------|------------|
|                   |       |                   |               |            |
| Mann-Kendall      | 0,353 | 1,96              | 2,576         | NS         |
| Linear Regression | 0,28  | 2,013             | 2,687         | NS         |
|                   |       | Vazão média anual |               |            |
| Mann-Kendall      | 4,433 | 1,96              | 2,576         | S (0,01)   |
| Linear Regression | 2,426 | 2,012             | 2,685         | S (0,05)   |

O mesmo não acontece com a vazão média anual, pois esta apresenta uma tendência decrescente (Tabela 3). A tendência negativa de vazão pode estar associada a maior uso e retenção de água nos reservatórios a montante (Suazilândia) para abastecimento e irrigação ou ainda devido a mudança do uso de solo. Não se sabe se esta tendência decrescente de vazão é semelhante para toda a bacia de Umbeluzi. No entanto, uma análise completa de mudança hidrológica está fora do escopo deste estudo. Se a tendência negativa de vazão for semelhante para baixo Umbeluzi e se esta tendência continuar, poderão ser esperadas condições significativamente mais severas no futuro. A perda da cobertura vegetal resulta na diminuição de fluxos dos rios (GUZHA *et al.*, 2018) especialmente em anos secos (DEHGHANIPOUR *et al.*, 2019) reduzindo a disponibilidade hídrica.

## Indicadores de desempenho

O período de 2012 a 2017 foi usado para calibração de volume médio mensal do reservatório. O modelo apresentou problemas para simular os meses com volumes mais baixos, em especial o mês de maio de 2016. Para a vazão média mensal do rio Umbeluzi a jusante do reservatório o ano 2014 serviu para calibrar o modelo. As vazões simuladas não se ajustavam às vazões observadas em grande parte do ano, apresentando problemas para simular os meses com vazão alta.

Feitas as correções no modelo, foi possível obter comportamento aceitável dos parâmetros. Para validação utilizou-se o volume de 2005-2011, o modelo simulou bem o comportamento de volumes do reservatório dos Pequenos Libombos apresentando o NSE de 0,69 e Bias de 5,2%. Nos dados de vazão de 2005, o modelo simulou bem mostrando que consegue gerar o regime da bacia do baixo Umbeluzi com NSE de 6,7 e Bias de 6,0%. Nem sempre é possível identificar as causas da variação entre os dados simulados e modelados (BLAINSKI *et al.*, 2016) e diferenças mínimas na validação de modelos podem ser desprezadas devido a várias incertezas no processo de modelagem (FAIZ *et al.*, 2018). Portanto, usadas as estatísticas padrão de qualidade do ajuste, considerou-se o desempenho do modelo satisfatório para esse tipo de estudo e dada a complexidade do sistema e a escassez de dados.

Para análise do desempenho do sistema, foi adotada o valor de 21,0% (82,73 hm<sup>3</sup>) da capacidade máxima do reservatório utilizada pela Unidade de Gestão da Bacia de Umbeluzi (UGBU) como sendo o nível limite, portanto, abaixo desse valor o reservatório encontra-se em estado de alerta. Num horizonte de 36 anos a demanda é satisfeita em 324 meses no cenário de Referência e 165 no cenário Maior Crescimento. Enfatiza-se que os resultados são indicativos, não definitivos e, a ênfase deve ser colocada na magnitude relativa dos impactos, e não na absoluta.

## Demanda de água

A população total (Maputo, Matola e Boane) estimada pelo modelo para o ano 2017 é de 1.751.478 no cenário de Referência enquanto o INE (2018) contabilizou 1.907.834 habitantes referentes ao censo 2017. A população projetada para 2040 é de 2.357.338 para o cenário de Referência e 2.999.834 para o cenário Maior Crescimento.

A demanda de água para abastecimento doméstico em 2014 foi estimada em 93 hm<sup>3</sup> para o cenário de Referência (Figura 3), superior a 91 hm<sup>3</sup> registrado pela ARA-Sul (2014). As projeções indicam uma demanda de água de 156 hm<sup>3</sup> e 255 hm<sup>3</sup> em 2025 e 2040, respectivamente, para o cenário Maior Crescimento, enquanto o cenário de Referência apresenta valores mais baixos, por exemplo, 200,4 hm<sup>3</sup> em 2040. SWECO e ASSOCIATES (2005) estimaram em 182 hm<sup>3</sup> a demanda de água para o ano 2025. Wada e Bierkens (2014) projectaram o uso não sustentável de água, tanto das águas superficiais quanto das subterrâneas no sul de África, em particular Moçambique a partir de 2069.

Os centros urbanos continuarão a demandar mais água, por exemplo, em 2040 a demanda estimada para abastecimento doméstico é de 255 hm<sup>3</sup> superior à demanda agrícola (67,2 hm<sup>3</sup>) para o cenário Maior Crescimento (Figuras 3 e 4). Mounir *et al.* (2011) no estudo do rio Níger, estimaram o aumento da demanda de 144 hm<sup>3</sup> em 2009 para 618 hm<sup>3</sup> em 2030 como resultado da taxa de crescimento populacional de 7%. Países com alto crescimento populacional terão aumentos substanciais na demanda de água no futuro (DROOGERS *et al.*, 2012). O crescimento da população periurbana nas cidades de Maputo, Matola e vila de Boane tem sido motivo de grande preocupação.



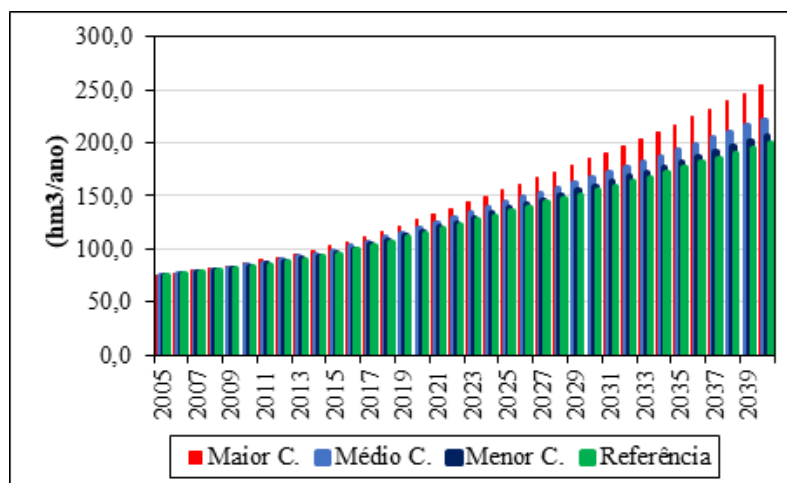


Figura 3 - Demanda de água para abastecimento doméstico (hm<sup>3</sup>)

A área agrícola foi estimada em 2.535,2 ha em 2014 para o cenário de Referência enquanto a ARA-Sul (2014) registrou uma área de 3.430 ha. A área irrigada projetada para os cenários de Referência e Maior Crescimento para o ano de 2040, é de 4.817,6 ha e 8.010,6 ha, respectivamente. YOU *et al.* (2011) estimaram que a agricultura irrigada poderá ser expandida em quase 150 000 km<sup>2</sup> nos próximos 50 anos e Moçambique é um dos seis países com maior potencial de expansão.

Na agricultura, o modelo estimou uma demanda de 21,3 hm<sup>3</sup> no ano 2014, comparado com o valor de 22,9 hm<sup>3</sup> registrado pela ARA-Sul (2014), verifica-se a subestimação do modelo. Prevê-se uma demanda de 27,9 hm<sup>3</sup> e 37,2 hm<sup>3</sup> para os cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente (Figura 4) em 2025. O valor do cenário Maior Crescimento está próximo da demanda de 39 hm<sup>3</sup> estimada pela SWECO e ASSOCIATES (2005) para o ano 2025.

A melhoria de eficiência na irrigação pode atenuar substancialmente o aumento da demanda futura de água na agricultura. A grande variação na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos (MOUNIR *et al.*, 2011; ADGOLIGN *et al.*, 2016) tornará as consequências da escassez de água ainda mais severas, a menos que sejam implementadas estratégias de gestão de lado da demanda para minimizar o crescimento futuro da demanda de água (WADA; BIERKENS, 2014).

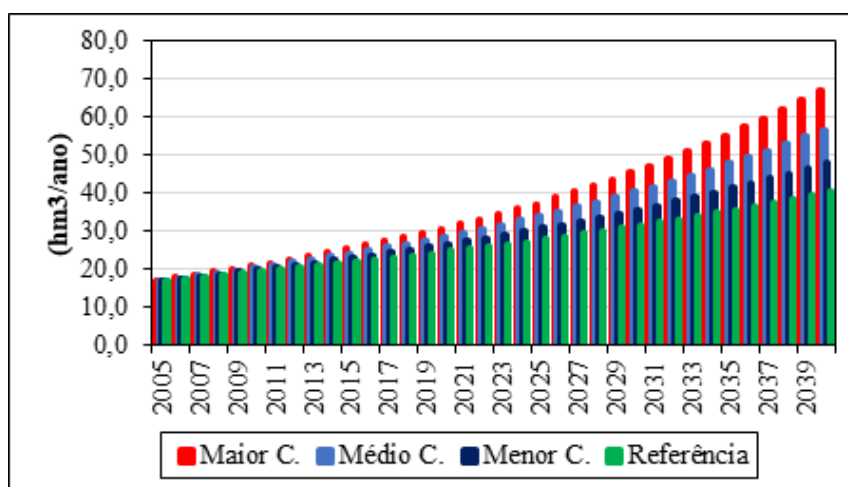


Figura 4 - Demanda da água para irrigação (hm<sup>3</sup>)

A demanda industrial é estimada em 12,5 hm<sup>3</sup> e 17,4 hm<sup>3</sup> para os cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente, para 2025 (Figura 5). Em 2040 a demanda de água é estimada em 23,1 hm<sup>3</sup> no cenário de Referência e 41,2 hm<sup>3</sup> para o cenário Maior Crescimento.

A análise constatou que os principais nós de demanda de água utilizada foram o abastecimento doméstico e agrícola. A demanda de água altera o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica modificando parâmetros como escoamento superficial, particularmente em pequenas bacias hidrográficas (MIRAJI *et al.*, 2019).

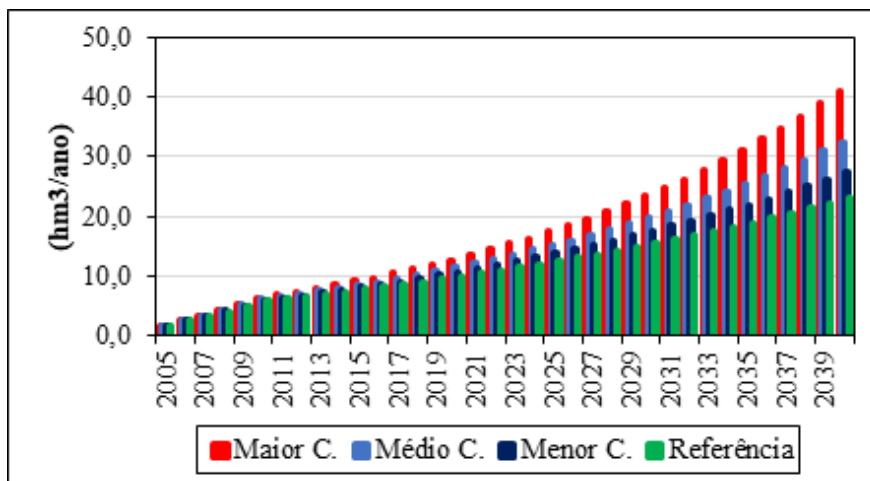


Figura 5 - Demanda industrial da água (hm<sup>3</sup>)

### Demanda não atendida

A figura 6 mostra crescimento da demanda não atendida, apresentando variações em função de anos previstos como chuvoso e muito chuvoso que reduzem a quantidade de água não atendida. A escassez de água para os cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento acontece 11 anos mais cedo se comparado ao cenário de crescimento da população no trabalho de Droogers *et al.* (2014). A cobertura das necessidades mostra níveis muito baixos do que é aceitável para o abastecimento doméstico. A projeção da demanda não atendida é de 33,6 hm<sup>3</sup> e 57,3 hm<sup>3</sup> em 2040 para os cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente. O fato de se ter considerado o fluxo de retorno de 10% na agricultura pode também estar associado a baixa cobertura no setor doméstico, pois a captação de água de abastecimento doméstico é feita a jusante do setor agrícola.

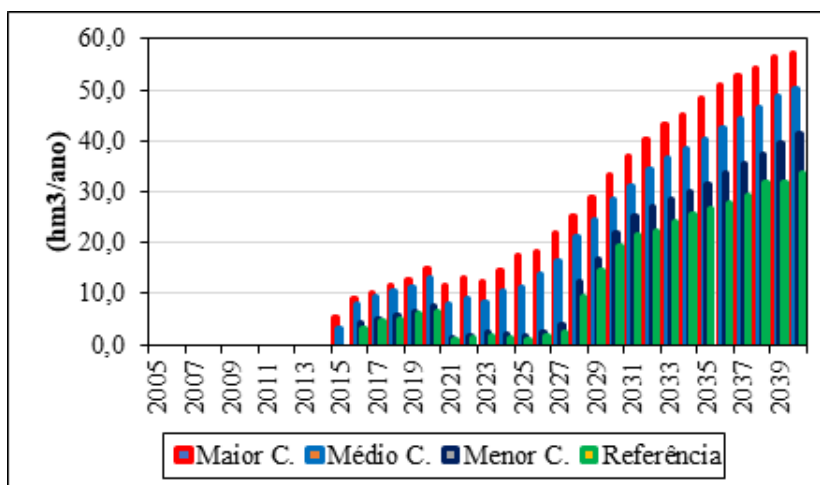


Figura 6 - Demanda anual não atendida no abastecimento doméstico (hm<sup>3</sup>)

O aumento na quantidade da demanda não atendida corresponde ao crescimento da demanda. Portanto, o abastecimento doméstico tem a maior demanda em todos os cenários, também tem a maior demanda não atendida, o que, por sua vez, afeta a cobertura da demanda setorial de água. O aumento da oferta (anos chuvosos e muito chuvosos) nunca atenderá à crescente demanda.

A escassez de água para baixo Umbeluzi pode não ser muito grave até ao ano de 2022 na maioria dos cenários. No entanto, a partir de 2024, a situação muda completamente, especialmente para os cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento, a escassez pode ser muito alta. O aumento da demanda não atendida é devido ao crescimento populacional, declínio de fluxo de água para as captações devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação (SURYADI *et al.*, 2018).

A demanda não atendida na agricultura começou dois meses mais cedo que a demanda não atendida no abastecimento doméstico, no mesmo ano de 2015 para os cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento e 2016 no cenário de Referência (Figura 7). A demanda não atendida para o ano 2040 é estimada em 12,9 hm<sup>3</sup> e 22 hm<sup>3</sup> para os cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente, apresentando variações significativas ao longo do período de simulação. Maliehe e Mulungu (2017) encontraram demanda não atendida com a expansão agrícola no Lesotho. A expansão da área agrícola, a variabilidade de precipitação e o aumento de desmatamento contribuem para o aumento da demanda não atendida (MIRAJI *et al.*, 2019). O impacto significativo na demanda de água reflete a necessidade de desenho de planos de gerenciamento de água e redução de perdas de água para compensar esse *déficit*.

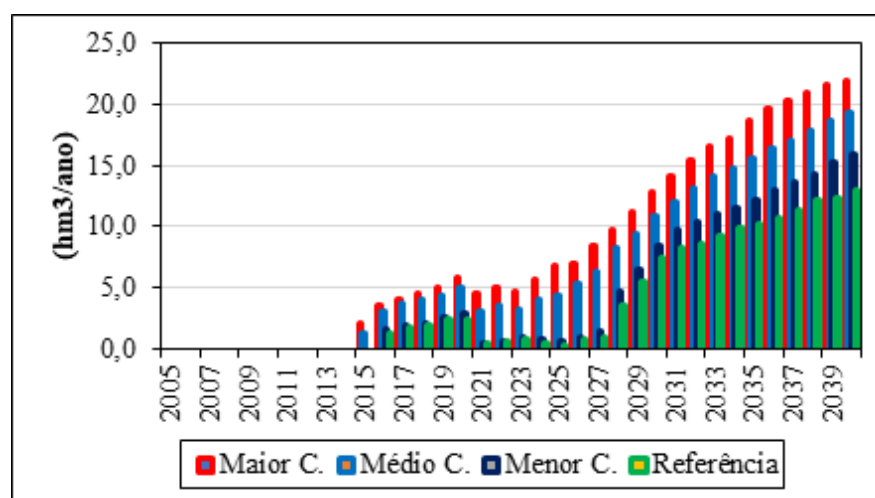


Figura 7 - Demanda anual não atendida irrigação (hm<sup>3</sup>).

A indústria é o setor onde as necessidades de água são satisfeitas na maior parte do período de simulação. A demanda não atendida no cenário Maior Crescimento começa em setembro de 2033, sete anos mais cedo que o cenário Menor Crescimento (2039). A estimativa aponta para demanda não atendida de 3,5 hm<sup>3</sup> e 7,4 hm<sup>3</sup>, para os cenários Menor Crescimento e Maior Crescimento, respectivamente, em 2040 (Figura 8). O cenário de Referência não apresenta nenhum déficit ao longo do período de simulação. O fato desse setor apresentar menor demanda de água pode estar na origem de satisfação de suas necessidades na maior parte do período simulado.

Duma forma geral, a projeção da demanda total anual não atendida, mostra valor de 88,1 hm<sup>3</sup> no cenário Maior Crescimento, enquanto o cenário de Referência é estimado em 51,7 hm<sup>3</sup> no ano 2040. Os resultados mostram que nem a demanda de água doméstica nem a irrigação serão atendidas com base na tendência atual. A utilização integrada de águas superficiais e subterrâneas pode ser uma boa estratégia para lidar com escassez (DEHGHANIPOUR *et al.*, 2019; MIRAJI *et al.*, 2019), embora não se conheça a quantidade da água subterrânea na bacia. Aliás, nos últimos anos tem se recorrido a água subterrânea para o abastecimento doméstico e agrícola não devidamente licenciada e quantificada. Nadal *et al.* (2017) constataram que a expansão agrícola sem estratégias de uso eficiente de água tende a influenciar na demanda total de água na bacia.

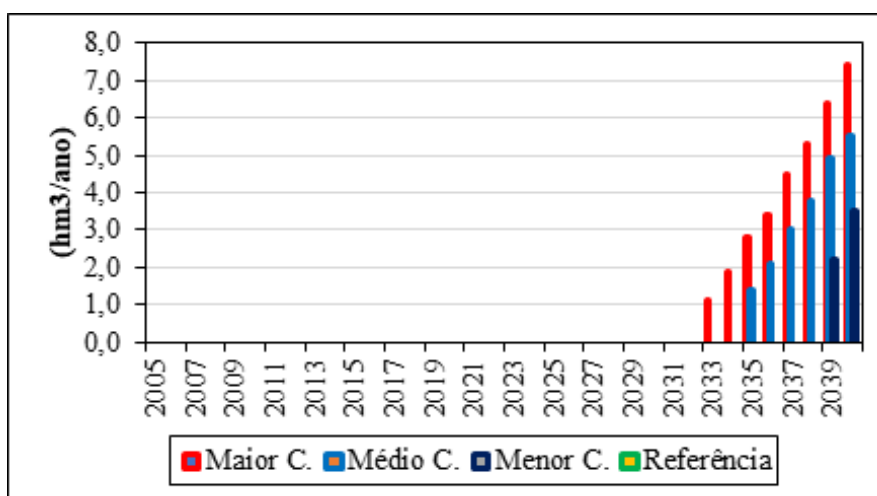


Figura 8 - Demanda anual não atendida na indústria (hm<sup>3</sup>)

Há três razões principais para o aumento da demanda não atendida nos setores doméstico e agrícola: (1) crescimento populacional, (2) a expansão de áreas agrícolas, e (3) declínio do fluxo de água devido à variabilidade temporal e espacial. Assim, a resiliência do sistema de água tenderá a diminuir, e a vulnerabilidade do sistema de água aumentará consequentemente (MIRAJI *et al.*, 2019).

É preciso considerar que a simulação manteve constante o valor médio de uso de água na agricultura (9.181 m<sup>3</sup>/ha/ano). O aumento de eficiência no uso da água na agricultura é uma solução amplamente sugerida para o combate a escassez de água (SILVA *et al.*, 2018), através do melhoramento de rega por gravidade e o incentivo de rega por gotejamento. As maneiras de aumentar a oferta de água por meio da conservação do recurso, alcançada pela redução de perdas, armazenamento de água no solo para irrigação é outra solução viável (MCCLAIN, 2013). As estratégias de gestão de lado da demanda reduziram as demandas anuais de água em 15% na Tanzânia (MIRAJI *et al.*, 2019).

Tratando-se duma bacia hidrográfica transfronteiriça é importante uma boa cooperação entre os países na partilha de informação hidrológica e ambiental. Para mitigar os impactos nos recursos hídricos em bacias hidrográficas exige-se a integração dos resultados das análises em escala regional e dos estudos em escala local (GUZHA *et al.*, 2018). A sazonalidade afeta a disponibilidade de água para os usuários em bacias hidrográficas africanas (MALIEHE; MULUNGU, 2017).

## CONCLUSÃO

Neste estudo, foi avaliado o impacto do crescimento populacional, industrial e expansão agrícola na alocação de água na sub-bacia hidrográfica do rio Umbeluzi em Moçambique. No entanto, essa alocação pode ter incertezas relacionadas a modelo hidrológico, falta de dados de boa qualidade e de longo prazo para a área de estudo.

A tendência negativa de vazão no ponto de entrada (fronteira) pode estar associada a maior uso, retenção de água nos reservatórios e mudança do uso de solo na Suazilândia, enquanto a precipitação não demonstra nenhuma tendência histórica de maior variabilidade.

A demanda de água para abastecimento doméstico em 2040 foi estimada em 200,4 hm<sup>3</sup> e 255 hm<sup>3</sup>, respectivamente, para os cenários de Referência e Maior Crescimento. Para os mesmos cenários, no setor agrícola, prevê-se uma demanda de 27,9 hm<sup>3</sup> e 37,2 hm<sup>3</sup> em 2025. O setor industrial apresenta uma demanda estimada de 23,1 hm<sup>3</sup> e 41,2 hm<sup>3</sup> em 2040. Os centros urbanos continuarão a demandar mais água até 2040, a demanda estimada para abastecimento doméstico é de 255 hm<sup>3</sup> superior à demanda agrícola (67,2 hm<sup>3</sup>) para o cenário Maior Crescimento

Excluindo as demandas ecológicas não atendidas, a projeção da demanda não atendida é de 33,6 hm<sup>3</sup> e 57,3 hm<sup>3</sup> em 2040 para os cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente, no abastecimento doméstico. Para os mesmos cenários no setor agrícola, a demanda não atendida é estimada em 12,9 hm<sup>3</sup> e 22 hm<sup>3</sup>, respectivamente, apresentando variações significativas ao longo do período da simulação, em resultados de vazões afluentes originadas pelos cenários hidrológicos previstos. No setor industrial a demanda não atendida é de 3,5 hm<sup>3</sup> e 7,4 hm<sup>3</sup> em 2040 nos cenários Menor e Maior Crescimentos. O cenário de Referência não apresenta nenhum *déficit* ao longo do período de simulação.

Se confirmado o aumento da população e de área agrícola considerados neste trabalho, a demanda não atendida aumentará no futuro, pondo em causa o desenvolvimento econômico e a saúde pública da população a não ser que sejam postas em prática estratégias de gestão de lado da demanda.

## REFERÊNCIAS

ADGOLIGN, T.B.; RAO, G. V. R. S.; ABBULU, Y. WEAP modeling of surface water Resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. Sustainability Water Resources Management, n. 2, p. 55-70, 2015.

ARA-SUL. Informação para a operação da barragem dos Pequenos Libombos, Maputo, 2010.

ARA-SUL. Informação anual. 2014.

ARRANZ, R.; McCartney M.P. Application of the Water Evaluation and Planning (WEAP) model to assess future water demands and resources in the Oliphant Catchment, South Africa. International Water Management Institute, v.1, n.116, p. 1-103, 2007.

BHAVE, A. G.; CONWAY, D.; DESSAI, S.; STAINFORTH, D.A. Water Resource Planning Under Future Climate and Socioeconomic Uncertainty in the Cauvery River Basin in Karnataka, India. Water Resources Research, n. 54, p. 708–728, 2018.

BLAINSHI, É.; PORRAS, E. A. A.; GARBOSSA, L. H. P.; PINHEIRO, A. Simulation of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, n. 33, p. 1-12, 2016.

CASTRO, R. A.; MACHADO, E. Análise de sensibilidade de parâmetros hidrológicos na bacia do Rio Das Pedras Guarapuava-PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.5, p. 1746-1756, 2019.

CCG - UCC – Centro de Cambio Global -Universidade Católica de Chile; SEI - Stockholm Environment Institute. Guia Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos com el Modelo WEAP. 2009. Disponível: <http://weap21.org>. Acesso: 18 abr. 2018.

CONCEIÇÃO, R. S. Crise hídrica em Vitória da Conquista-BA: Subsídios às políticas públicas para o abastecimento de água. *Revista de Geociência de Nordeste*, v. 4, p. 59-6.70, 2018.

CU, P.; BALL, J. E. Parameter estimation for a large catchment. *Australasian Journal of Water Resources*, n. 21, p. 20-33, 2017.

DEHGHANIPOUR, A. H.; ZAHABIYOUN, B.; SCHOUUPS, G.; BABAZADEH, H. 2019. A WEAP-MODFLOW surface water-groundwater model for the irrigated Miyandoab plain, Urmia lake basin, Iran: Multi-objective calibration and quantification of historical drought impacts. *Agricultural Water Management* 223. Disponível: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105704>>. Acesso em: 28 mar. 2020.