



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Avaliação de contribuição do reservatório de Movene na bacia hidrográfica do rio Umbeluzi em Moçambique

Pedro Francisco Notisso<sup>1</sup>, Klebber Teodomiro Martins Formiga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ciências Ambientais, assistente universitário, Univerdade Eduardo Mondlane, Moçambique, Maputo, Av. Julius Nyerere, C.P.:275, [pedro.notisso@gmail.com](mailto:pedro.notisso@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2939-3859> (autor correspondente); <sup>2</sup> Doutor em Hidráulica, Professor Adjunto, Escola de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Setor Universitário, CEP 74605-220, [klebber.formiga@gmail.com](mailto:klebber.formiga@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1094-362>.

Artigo recebido em 07/01/2021 e aceito em 16/04/2021

### RESUMO

A gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Umbeluzi é uma questão fundamental devido ao agravamento de escassez de água nos centros urbanos e na agricultura que pode pôr 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 e crescimento populacional. O estudo avaliou a contribuição do novo reservatório de Movene e novas regras de prioridade na alocação de água superficial para atender às diferentes necessidades usando o modelo *WaterEvaluation 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 NSE de 6,7 e Bias de 6,0% na vazão. Os resultados mostram menor contribuição do reservatório de Movene, a demanda não atendida no abastecimento doméstico passou de 33,6 hm<sup>3</sup> para 10,1 hm<sup>3</sup> no cenário de Referência e de 57,3 hm<sup>3</sup> para 19,9 hm<sup>3</sup> no cenário Maior Crescimento em 2040. Considerando o mesmo ano, a demanda não atendida na agricultura caiu de 12,9 hm<sup>3</sup> para 4,1 hm<sup>3</sup> e de 22 hm<sup>3</sup> para 10,3 hm<sup>3</sup> nos cenários de Referência e de Maior Crescimento. No sector industrial apenas o cenário Maior Crescimento apresenta demanda não atendida, tendo saído de 7,4 hm<sup>3</sup> para 0,3 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.

Palavras-chave: recursos hídricos, demanda hídrica, rio Umbeluzi, modelo WEAP.

## Contribution assessment of the Movene reservoir in the Umbeluzi river basin in Mozambique

### 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 and population growth. The study evaluated the contribution of the new Movene reservoir and new rules of priority in the allocation of surface water to meet different needs using Water Evaluation And Planning (WEAP) model. WEAP model was validated 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. The results demonstrate a lower contribution of the Movene reservoir, the unmet demand in domestic supply went from 33.6 hm<sup>3</sup> to 10.1 hm<sup>3</sup> in the Reference scenario and from 57.3 hm<sup>3</sup> to 19.9 hm<sup>3</sup> in the Reference scenario Higher Growth scenario in 2040. Considering the same year, unmet demand in agriculture fell from 12.9 hm<sup>3</sup> to 4.1 hm<sup>3</sup> and from 22 hm<sup>3</sup> to 10.3 hm<sup>3</sup> in the Reference and Higher Growth scenarios. In the industrial sector, only the Highest Growth scenario has unmet demand, having gone from 7.4 hm<sup>3</sup> to 0.3 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.

## Introdução

Em países e regiões com problemas de água, os recursos hídricos tornaram-se uma questão estratégica não apenas relacionada à sobrevivência e desenvolvimento, mas também um aspecto importante de segurança nacional e das relações internacionais (Zhao et al., 2009). Estudos recentes demonstram 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 Liden, 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 (Metobwaet et al., 2018) e a bacia de Wami Ruvu (Miraji et al., 2019).

A preocupação com a garantia de segurança hídrica 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, expansão agrícola e mudanças climáticas (Juízo e Liden, 2010; Droogers et al., 2014) apresentando nos últimos anos 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 dos recursos hídricos (Zeinali et al., 2020). As estratégias de gerenciamento de 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; Maliehe e Mulungu, 2017). Assim, a simulação matemática é de grande utilidade porque, permite representar o funcionamento do sistema de forma bastante realista (Simões e Oliveiras, 2010). Vários modelos são utilizados na modelagem dos recursos hídricos com destaque para WEAP (*Water Evaluation And Planning System*). Muitos pesquisadores fizeram estudos sobre alocação dos recursos hídricos em diferentes escalas espaciais e temporais em todo o mundo (McCartney et al., 2004; SWECO e

ASSOCIATES, 2005; Arranz e McCartney, 2007; Juízo e Liden, 2010; Droogers et al., 2014; Johannsen et al., 2016; Omar e Moussa, 2016; Bhave et al., 2017). Estes estudos indicam que a avaliação dos recursos hídricos foi realizada nas escalas de bacias e sub-bacias hidrográficas em muitos países para melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. O modelo WEAP 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 que 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 (Adgolign et al., 2016). É útil fazer análise de alocação de água antes ou após a manifestação de sintomas de escassez, 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 e Liden, 2010).

Como forma de aumentar a disponibilidade hídrica e reduzir a escassez de água foi proposta a construção do reservatório sobre o rio Movene pela Direção Nacional de Recursos Hídricos (DNRH). O aumento de oferta de água é a grande preocupação de instituições responsáveis pela gestão de água na bacia.

Para a bacia hidrográfica do rio Umbeluzi (BRU) estudos desta natureza são escassos, destacando-se os trabalhos de Juízo e Liden (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 nos três sectores: doméstico, agrícola e industrial no baixo Umbeluzi. Informações

deste tipo são de extrema importância no suporte de decisões de planejamento de recursos hídricos (Cu eBall, 2017; Venzon et al.,2018), reforçando a relevância da sua aplicação nessa bacia. Assim, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a contribuição do novo reservatório de Movene e novas regras de prioridade na alocação de água superficial para atender as necessidades hídricas doméstica, 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, Zimbábue, Suazilândia e África do Sul, no lado leste pelo Oceano Índico. A bacia do rio Umbeluzi é partilhada por três países, Suazilândia, África do Sul e Moçambique (Figura 1). Tem uma

área total de 5.460 km<sup>2</sup> sendo 2.184 km<sup>2</sup> em Moçambique (SWECO eASSOCIATES, 2005). É uma bacia estratégica, pois é responsável pelo abastecimento de água as capitais de Suazilândia e de Moçambique e seus arredores.

A parte moçambicana 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, é responsável por abastecer água a cerca de 1,7 milhões de habitantes nas cidades de Maputo, Matola e distrito de Boane em Moçambique (ARA-Sul, 2014). Segundo o mesmo autor 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 na zona costeira a 1000 mm na cordilheira dos Libombos (ARA-Sul, 2014) e uma vazão afluente de 11,24 m<sup>3</sup>/s (ARA -Sul, 2010).

Localização da bacia do rio Umbeluzi

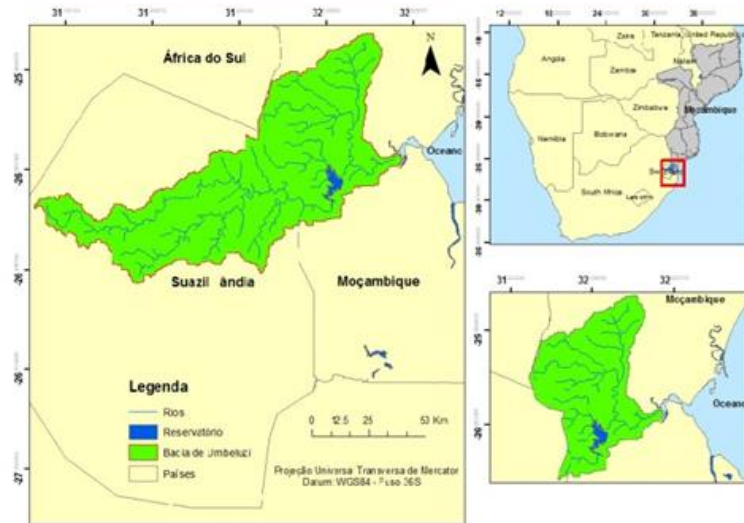


Figura 1. Localização da área de estudo.

### Etapas de modelagem

Tendo em conta a possibilidade de construção de um reservatório sobre o rio Movene, com capacidade total de armazenamento de 335 hm<sup>3</sup> proposta pela DNRH. Considerada esta hipótese foi simulada a contribuição e o comportamento do novo reservatório no sistema para auxiliar o reservatório dos Pequenos Libombos, com início de operação estipulado para 2030, assumindo valor inicial de 263 hm<sup>3</sup>.

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).

No modelo foram inseridos dados referentes a população, área irrigada e número de indústrias e demanda de água no ano base (Tabela 1). 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, informação detalhada sobre dados de entrada pode ver Yates et al., 2005; SEI, 2015. 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.

Tabela 1. Demanda anual de água no baixo Umbeluzi.

Setor da demanda	Volume (hm <sup>3</sup> )		Porcentagem	
	2005	2014	2005	2014
Abastecimento	75	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</b>	<b>137,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: SWECO e ASSOCIATES (2005); ARA-Sul (2014)

A Figura 2a mostra a esquematização do modelo de alocação de água com prioridade 1 para todos os sectores (incluindo vazão ecológica) e a Figura 2b inclui o reservatório de Movene e a proposta de priorização de fornecimento de água. A avaliação da capacidade de satisfação das necessidades de água foi feita definindo o valor mínimo de armazenamento de 82,73 hm<sup>3</sup> para o reservatório dos Pequenos Libombos (ARA-Sul, 2010) e 125 hm<sup>3</sup> para o reservatório de Movene, abaixo desse volume começam as restrições de distribuição de água

Foram testados quatro cenários de impacto e uma medida de adaptação. A elaboração de cenários seguiu a abordagem adotada por Droogers et al. (2014) e Leong e Lai (2017).

Cenário de Referência - foi modelado e projetado nas condições de 2005. O reservatório dos Pequenos Libombos foi considerado como tendo volume inicial de 325,26 hm<sup>3</sup>, referente ao mês de janeiro. 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 – crescimento populacional (1,4%), área agrícola (0,2%) e indústrias (1,2%).

Cenário Médio Crescimento - crescimento populacional (1,6%), aumento da área agrícola (0,3%) e aumento de indústrias (1,8%).

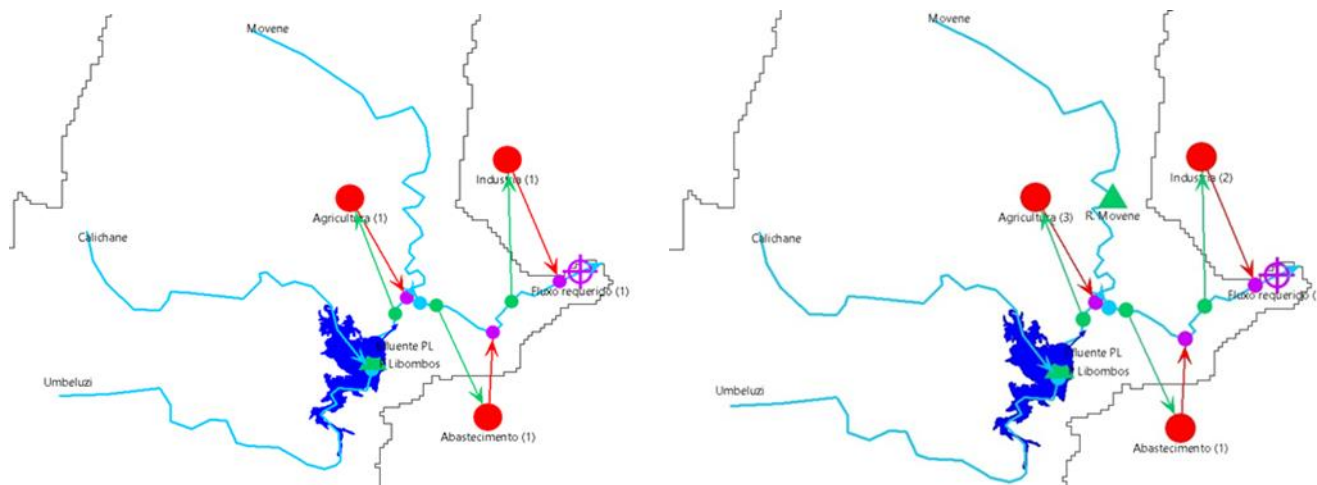


Figura 2. Alocação de água: situação atual (a), incluindo o reservatório de Movene e novas prioridades (b).

Cenário Maior Crescimento - crescimento populacional (2,0%), a área agrícola (0,6%) e indústrias (2,5%).

Medida de adaptação – prioridade 1 para abastecimento doméstico e vazão ecológica,

prioridade 2 para indústria e prioridade 3 para irrigação e, construção do reservatório de Movene.

As condições hidrológicas observadas de 1986 a 2016 foram usadas para o futuro, selecionando para cada ano no futuro um ano

aleatório no passado. Portanto, 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 aflúências no sistema. Os anos hidrológicos são caracterizados por uma percentagem de precipitação em relação à média (CCG-UCC e SEI, 2009). 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).

Foi calculado o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) (Equação 1) para calibração e validação do modelo. 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 (Equação 2) 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 seco e chuvoso para avaliar o desempenho do modelo. Essa abordagem foi usada por Adgogni 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

### Indicadores de desempenho

O período de 2012 a 2017 foi 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 simula 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 simula 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, usada a estatística padrão de qualidade do ajuste, o desempenho do modelo foi 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 e, a ênfase deve ser colocada na magnitude relativa dos impactos.

### 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> registrada 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 superficial quanto 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.

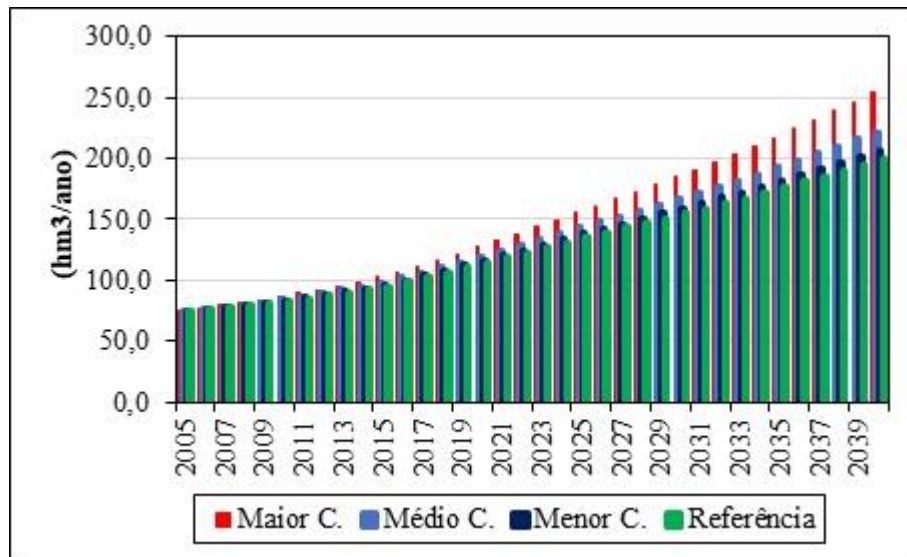


Figura 3. Demanda de água para abastecimento doméstico (hm<sup>3</sup>).

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. Nadal et al. (2017) constataram que a expansão da irrigação sem estratégias de uso eficiente de água tendem a influenciar na demanda total de água na bacia.

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 de 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 e Bierkens, 2014).

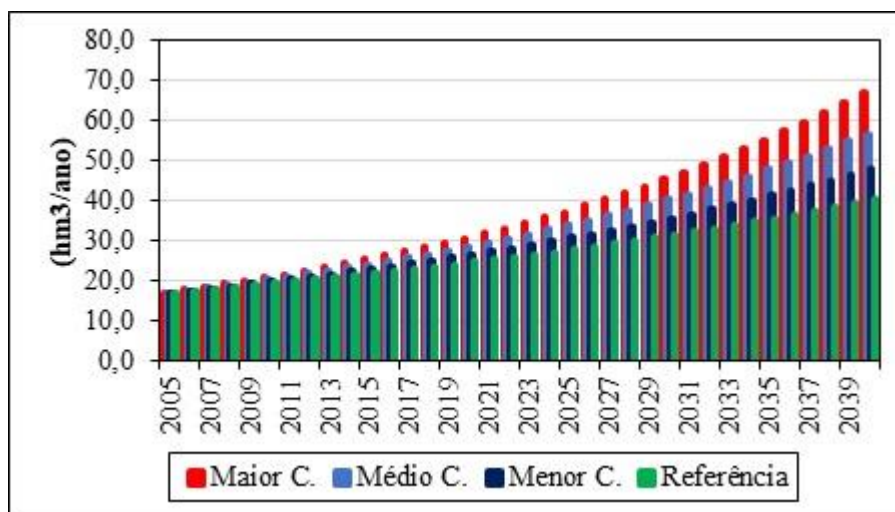


Figura 4. Demanda de água para agricultura (hm<sup>3</sup>).

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 utilizados 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).

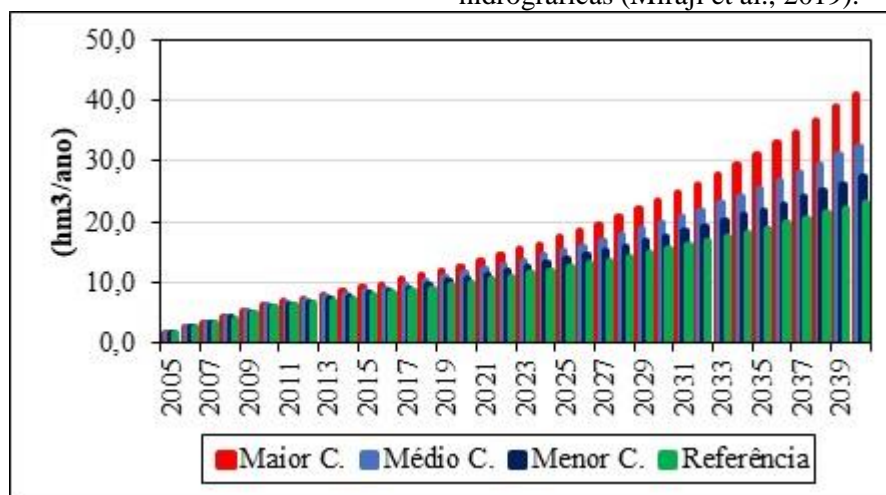


Figura 5. Demanda de água na indústria (hm<sup>3</sup>).

#### Demanda não atendida

Caso houvesse o início de operação do reservatório de Movene em 2030 e as novas regras de prioridade como é proposto neste artigo, haveria uma redução da demanda de água não atendida em todos os setores. No abastecimento doméstico em 2030, a demanda não atendida no cenário de Referência sai de 19,2 hm<sup>3</sup> para 0,7 hm<sup>3</sup> e de 33,4 hm<sup>3</sup>

para 9,6 hm<sup>3</sup> no cenário Maior Crescimento (Figura 6). A projecção da demanda não atendida em 2040 reduz de 33,6 hm<sup>3</sup> para 20,1 hm<sup>3</sup> e 57,3 hm<sup>3</sup> para 18,7 hm<sup>3</sup> nos cenários de Referência e Maior Crescimento, respectivamente. A demanda anual não atendida por alta taxa de crescimento populacional é quase o dobro da demanda anual não atendida na agricultura e indústria juntos.

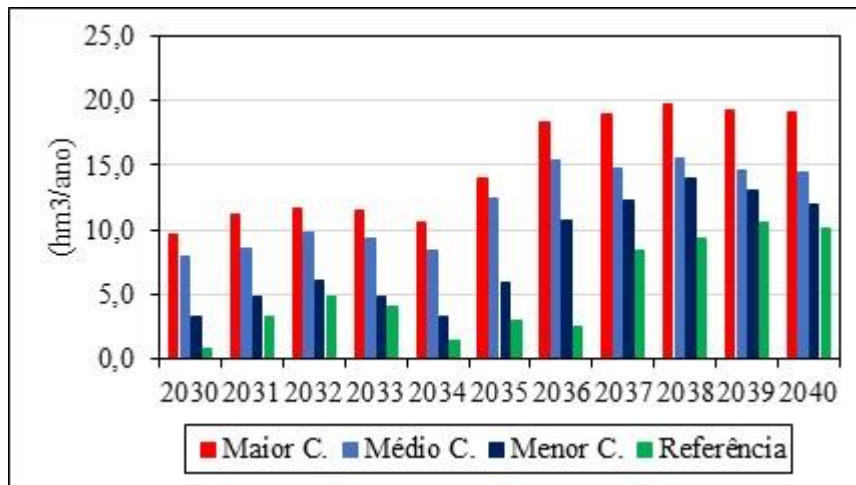


Figura 6. Demanda não atendida no abastecimento doméstico (hm³).

Isso mostra que a capacidade adicional de armazenamento introduzida e as novas prioridades não são suficientes para satisfazer totalmente as necessidades hídricas, resultado também encontrado por Juízo e Líden (2010), especialmente para grandes usuários.

As demandas não atendidas causadas pelo crescimento populacional também foram encontradas em outras bacias (Miraji et al., 2019; Maliehe e Mulungu, 2017; Leong e Lai, 2019).

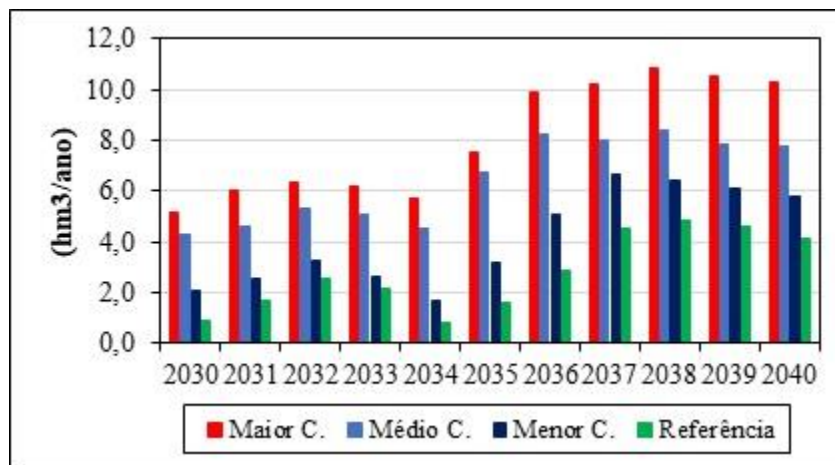


Figura 7. Demanda não atendida na agricultura (hm³).

A irrigação também apresenta redução da demanda não atendida. Em 2030, nos cenários de Referência e Maior Crescimento o valor sai de 7,4hm³ e 13,6 hm³ para 0,2 hm³ e 5,7 hm³ (Figura 7). Para o ano hidrológico muito chuvoso, de 2040, os ganhos são menores, nos dois cenários, a demanda não atendida passa de 12,9 hm³ e 22 hm³ para 4,1 hm³ e 10,3 hm³, que representa uma redução de 68,2% e 53,1%, respectivamente. As demandas não atendidas na agricultura variam ao longo do ano. O uso de técnicas mais eficientes de rega reduz a demanda não atendida (Johannsen et al., 2016; Metobwa et al., 2018).

No setor industrial, observa-se a satisfação total nos cenários de Referência, Menor e Médio Crescimento ao contrário do que acontecia quando operava apenas o reservatório dos Pequenos Libombos. A demanda não atendida no cenário Maior Crescimento começa em 2037 (Figura 8), quatro anos mais tarde se comparado com o funcionamento do reservatório dos Pequenos Libombos

Para o ano de 2040, o valor sai de 7,4 hm³ para 0,3 hm³, ano adotado como muito chuvoso, a redução da demanda não atendida é de 95,9%. A medida de adaptação introduzida tem impacto

positivo no atendimento das necessidades industriais, pois verifica-se menor demanda não atendida. Este resultado vai de acordo com a conclusão de Juízo e Liden (2010) ao se referir ao aumento de cobertura para pequenos utentes após

aplicação de medidas de adaptação e Metobwa et al. (2018) no estudo do rio Mara no Quênia.

Duma forma geral, a projeção da demanda total anual não atendida em 2030, nos cenários de Referência e Maior Crescimento passo de 30,2 hm<sup>3</sup> e 50,8 hm<sup>3</sup> para 0,4 hm<sup>3</sup> e 14,8 hm<sup>3</sup>.

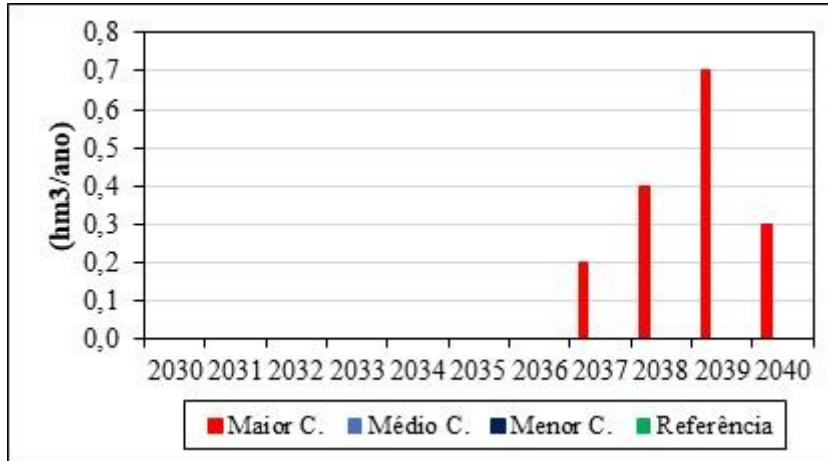


Figura 8. Demanda de água não atendida na indústria (hm<sup>3</sup>).

Em 2040, a demanda não atendida passa de 51,7 hm<sup>3</sup> e 88,1 hm<sup>3</sup> para 15,6 hm<sup>3</sup> e 29,4 hm<sup>3</sup> para os cenários de Referência e Maior Crescimento. Os factores socioeconomicos influenciam o desempenho do sistema de recursos hídricos (Bhave et al.,2017).

#### Reservatórios

Em nenhum momento de simulação o reservatório de Movene apresenta-se na sua capacidade máxima de armazenamento e, também nunca abaixo de 7 hm<sup>3</sup> em todos os cenários (Figura

9). O resultado reforça as conclusões de Juízo e Liden (2010) e Droogers et al. (2014) da incapacidade de satisfazer totalmente a demanda mesmo com introdução de medidas adaptativas. Isto sugere a combinação da proposta do novo reservatório com a redução de perdas, reuso e uso eficiente de água. Os problemas enfrentados podem ser mitigados por meio de uma abordagem integrada (Guzha et al., 2018; Metobwa et al., 2018; Dehghanipour et al., 2019), portanto, são medidas que precisam ser testadas simultaneamente.

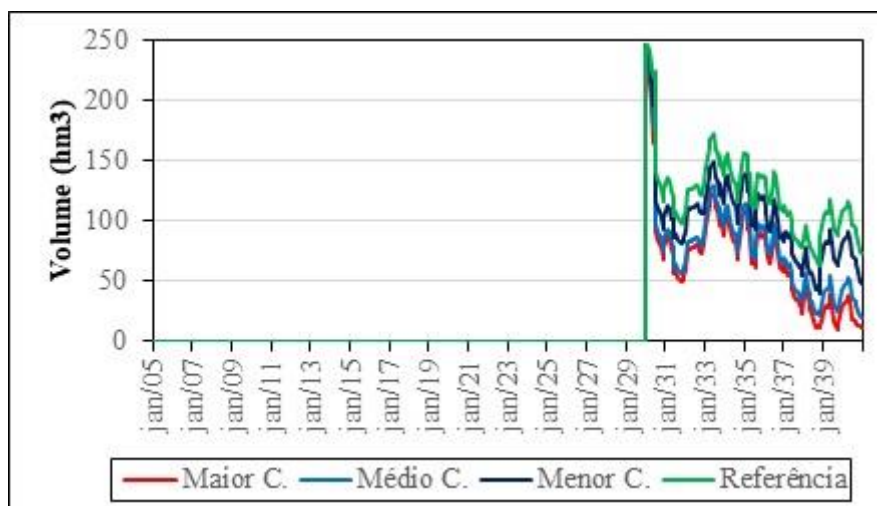


Figura 9. Volume do reservatório de Movene (hm<sup>3</sup>).

Com a entrada em funcionamento do reservatório de Movene, nota-se ligeiro aumento de volume no reservatório dos Pequenos Libombos (Figura 10a). Verifica-se aumento nos níveis do

reservatório dos Pequenos Libombos, os cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento já não apresentam volume morto (Figura 10b) mas sim, superiores a 70 hm<sup>3</sup> na maioria dos meses.

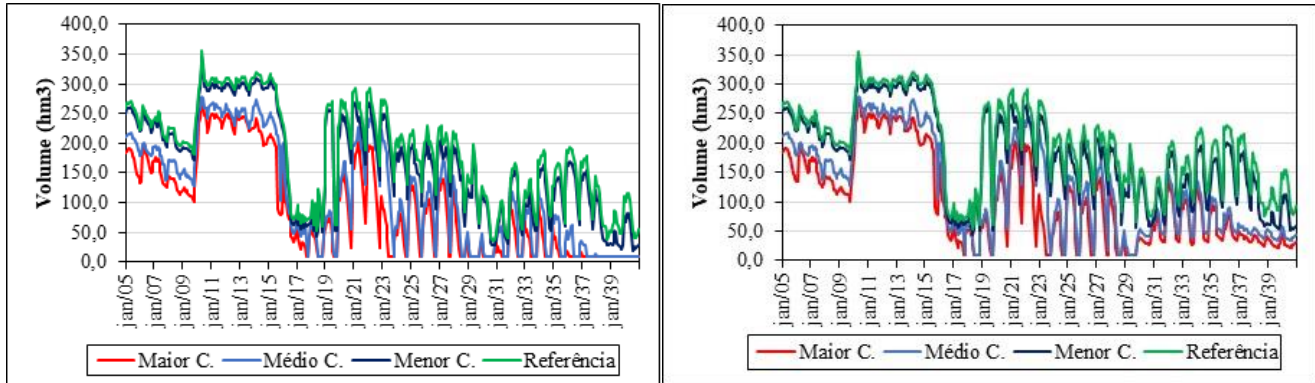


Figura 10. Volume do reservatório dos Pequenos Libombos (hm<sup>3</sup>): situação actual (a), com operação do reservatório de Movene (b).

O volume armazenado mostra diminuição para todos os cenários para o ano de 2038 adotado como muito seco, com valores abaixo de 55 hm<sup>3</sup> no cenário Maior Crescimento, sendo os meses de agosto a novembro os que registram valores mais baixos. Mesmo com a operação do reservatório de Movene, o reservatório dos Pequenos Libombos não é capaz de ter níveis superiores a 162 hm<sup>3</sup>, nos cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento, demonstrando que esta medida não resolve o problema de escassez de água. Estes armazenamentos de água no reservatório são insuficientes para manter um excedente adicional (Johannsen et al., 2016).

#### Vazão ecológica

Ao fazer a alocação de recursos hídricos, deve-se considerar os requisitos de fluxos ambientais para manter os ecossistemas do rio, neste estudo foi adotado o fluxo ambiental de 1m<sup>3</sup>/s a ser alocado às necessidades ambientais. Com a operação dos dois reservatórios, a vazão ecológica na saída de Umbeluzi apresenta valores satisfatórios na maior parte do tempo. A vazão mínima ecológica é igualada ou superada em 91% e 83% para os cenários Médio Crescimento e Maior Crescimento (Figura 11b).

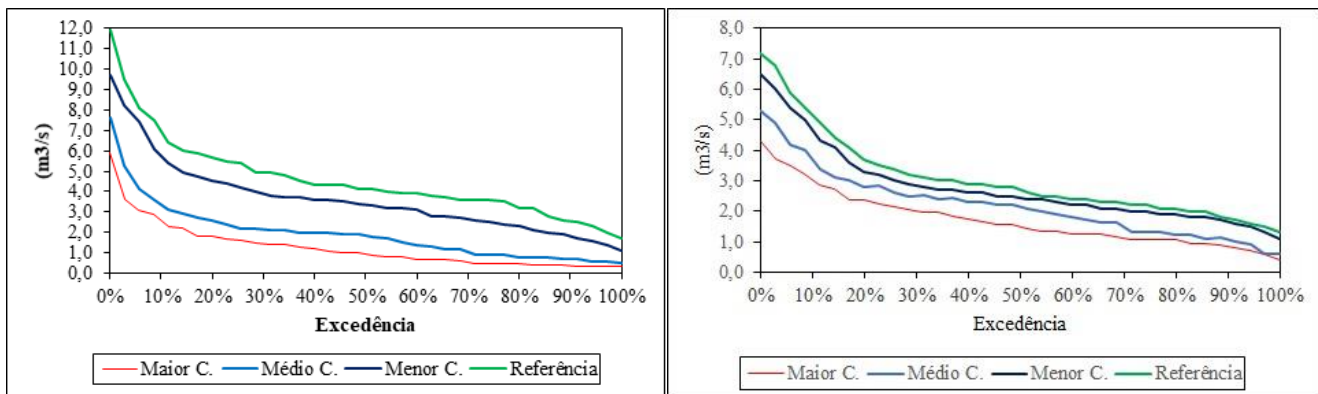


Figura 11. Vazão de saída de Umbeluzi: situação actual (a), com a operação do reservatório de Movene (b).

## Conclusões

1. Neste estudo, foi avaliada a contribuição do reservatório de Movene e novas regras de prioridade na alocação de água na sub-bacia hidrográfica do rio Umbeluzi em Moçambique. No entanto, esta alocação pode ter incertezas relacionadas a modelo hidrológico, falta de dados de boa qualidade e de longo prazo para a área de estudo.

2. 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 sector agrícola, prevê-se uma demanda de 27,9 hm<sup>3</sup> e 37,2 hm<sup>3</sup> em 2025. O sector industrial apresenta uma demanda estimada de 23,1 hm<sup>3</sup> e 41,2 hm<sup>3</sup> em 2040.

3. Excluindo as demandas ecológicas não atendidas, a projeção de 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 sector agrícola, a demanda não atendida é estimada em 12,9 hm<sup>3</sup> e 22 hm<sup>3</sup>. No sector 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.

4. A demanda não atendida no abastecimento doméstico passou de 33,6 hm<sup>3</sup> para 10,1 hm<sup>3</sup> no cenário de Referência e de 57,3 hm<sup>3</sup> para 19,9 hm<sup>3</sup> no cenário Maior Crescimento em 2040. Considerando o mesmo ano, a demanda não atendida na agricultura caiu de 12,9 hm<sup>3</sup> para 4,1 hm<sup>3</sup> e de 22 hm<sup>3</sup> para 10,3 hm<sup>3</sup> nos cenários de Referência e de Maior Crescimento. No sector industrial apenas o cenário Maior Crescimento apresenta demanda não atendida, tendo saído de 7,4 hm<sup>3</sup> para 0,3 hm<sup>3</sup> em 2040.

5. A medida de adaptação testada não foi significativa, uma vez que resultou em uma redução menor na demanda não atendida. O aumento de demanda não atendida pode pôr em causa o desenvolvimento económico e a saúde pública da população a não ser que sejam postas em prática estratégias de gestão de lado da demanda para auxiliar a estratégia de aumento de oferta de água.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo 190215/2017-8 – Chamada

CNPq PEC-PG N° 06/2017) e ao Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Goiás.

## Referências

- Adgolign, T.B.; Rao, G.V.R.S.; Abbulu, Y., 2015. WEAP modeling of surface water Resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. *Sustainability Water Resources Management* 2, 55-70
- ARA-Sul. Administração Regional de Águas do Sul. 2010. Informação para a operação da barragem dos Pequenos Libombos
- ARA-Sul. Administração Regional de Águas do Sul. 2014. Informação anual. 2014.
- Arranz, R.; McCartney, M.P., 2007. 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* 116, 1-103
- Bhave, A.G.; Conway, D.; Dessai, S.; STAINFORTH, D.A., 2018. Water Resource Planning Under Future Climate and Socioeconomic Uncertainty in the Cauvery River Basin in Karnataka, India. *Water Resources Research* 54, 708-728
- Blainshi, É.; Porras, E.A.A.; Garbossa, L.H.P.; Pinheiro, A., 2016. Simulation of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 33, 1-12
- CCG -UCC – Centro de Cambio Global - Universidade Católica de Chile; SEI - Stockholm Environment Institute, 2009. Guia Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos com el Modelo WEAP. Disponível: <http://weap21.org>. Acesso: 18 abr. 2018
- Conceição, R.S., 2018. Crise hídrica em Vitória da Conquista-BA: Subsídios às políticas públicas para o abastecimento de água. *Revista de Geociencia de Nordeste* 4, 59-6.70
- Cu, P.; Ball, J.E., 2017. Parameter estimation for a large catchment. *Australasian Journal of Water Resources* 21, 20-33

- Dehghanipour, A.H.; Zahabiyoun, B.; Schoups, 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: 28 mar. 2020
- Droogers, P.; Immerzeel, W. W.; Terink, W.; Hoogeveen, J.; BierkenS, M. F. P.; Van Beek, L. P. H.; Debele, B., 2012. Water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050. *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 3101–3114
- Droogers, P.; De Boer, F.; Terink, W., 2014. Water Allocation Models for the Umbeluzi River Basin, Mozambique. *Report Future Water* 132
- Faiz, M.A.; Liu, D.; Fu, Q.; Li, M.; Baig, F.; Tahir, A.A.; Khan, M.I.; Li, T.; Cui, S., 2018. Performance evaluation of hydrological models using ensemble of General Circulation Models in the northeastern China. *Journal of Hydrology* 565, 599-613
- Guzha, A.C.;Rufino, M.C.; Okoth, S.; Jacobs, S.; Nóbrega, R.L.B., 2018. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology*,15, 49-67
- Hassan, D.; Bano, R.; Burian, S.J.; Ansari, K., 2017. Modeling water demand and supply for future water resources management. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 8, 1745-1750
- Hussen, B.; Mekonnen, A.; Pingale, S.M., 2018. Integrated water resources management under climate change scenarios in the sub-basin of Abaya- Chamo, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment* 4, 221-240
- INE. Instituto Nacional de Estatística, 2018. Resultados Preliminares do IV Recenseamento Geral da População e Habitação
- Johannsen, I. M.; Hengst, J.C.; Goll, A.; Höllermann, B.; Diekkrüger., B., 2016. Future of Water Supply and Demand in the Middle Drâa Valley, Morocco, under Climate and Land Use Change. *Water* 313, 1-18
- Juizo, D.; Liden, R., 2010. Modeling for transboundary water resources planning and allocation: the case of Southern Africa. *Hydrology and Earth Systems Sciences*.14, 2343–2354
- Leong, W.K.; Lai, S.H. 2017. Application of Water Evaluation and Planning Model for Integrated Water Resources Management: Case StudyofLangat River Basin, Malaysia. IOP, Malaysia. (Materials Science and Engineering, 210)
- Maliehe, M.; Mulungu, D.M.M.,2017. Assessment of water availability for competing uses using SWAT and WEAP in South Phuthiatsana catchment, Lesotho. *Physics and Chemistry of the Earth* 100, 305-316
- McCartney, M.P.; Yawson, D.; Magagula, T.F.; Seshoka, J., 2004. Hydrology and water resources development in the Olifants river catchment. *International Water Management Institute, Colombo, Working Paper* 76
- McClain, M.E., 2013. Balancing Water Resources Development and Environmental Sustainability in Africa: A Review of Recent Research Findings and Applications. *AMBIO* 42, 549–565
- Metobwa, G.O.M.; Mourad, K.A.; Ribb, E. L., 2018. Water Demand Simulation Using WEAP 21: A Case Study of the Mara River Basin, Kenya. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management* 3, 9-18
- Miraji, M.; Liu, J.; Zheng, C. 2019. The Impacts of Water Demand and Its Implications for Future Surface Water Resource Management: The Case of Tanzania’s WamiRuvu Basin (WRB). *Water* 11, 1-11
- Mounir, Z.M.; Ma, C.M.; Amandou, I., 2011. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP): A Model to Assess Future

- Water Demands in the Niger River (In Niger Republic). *Modern Applied Science* 5, 38-49
- Nadal, G.; Girardin, O.; Losano, F.; Marizza, M.; Cello, P.; Bucciarelli, L.; Forni, L.; Camilloni, i.; Bravo, G.; Lallana, F.; Di Sbroiavacca, N., 2017. La planificación del manejo de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático. Una aplicación a la región del Comahue, Patagonia, Argentina. *Aqua-LAC* 2, 59-72.
- Ngoram, S.D.; Xue, X.Z.; Wesseh, P.K., 2016. Signatures of water resources consumption on Sustainable economic growth in Sub-Saharan African countries. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5, 114-122
- Omar, M.E.D.M.; Moussa, A.M.A., 2016. Water management in Egypt for facing the future challenges. *Journal of Advanced Research, Cairo*. 7, 403-412
- Purkey, D.; Galbraith, H.; Huber-Lee, A.; Sieber, J.; Yates, D., 2009. WEAP21—A Demand-, Priority- and Preference-Driven Water Planning Model. *Water International* 30, 501-512
- SEI. Stockholm environment institute, 2015. User guide. Disponível: <http://weap21.org>. Acesso: 11 abr. 2018
- SEI. Stockholm environment institute, 2016. Weap- tutorial water Evaluation and Planning System. In WEAP; Stockholm Environment Institute. [online]. Disponível: <http://weap21.org>. Acesso: 25 abr. 2018
- Simões, J.; Oliveira, R., 2014. Modelos de gestão de bacias hidrográficas: o desempenho dos modelos IRAS-2010 e aquatool na simulação do aproveitamento hidroagrícola do Vale do Sorraia. 2010. *Revista de Recursos Hídricos* 2, 29-39
- SWECO; associates, 2005. Estudo conjunto da bacia do Rio Umbeluzi. NDF197, Primeiro projecto nacional de desenvolvimento do sector de águas
- Venzon, P.T.; Pinheiro, A.; Kaufmann, V., 2018. Incertezas na simulação hidrológica em pequenas bacias por meio do modelo SWAT. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 49, 1-13
- Wada, Y.; Bierkens, M.F.P., 2014. Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. *Environmental Research Letters* 9, 1-17
- Yates, D.; Sieber, J.; Purkey, D.; Lee, A., 2005. WEAP21: A demand, priority, and preference-driven water planning model-part 1: model characteristics. *Water International* 4, 487-500
- Zeinali, M.; Azari, A.; Heidari, M.M., 2020. Simulating Unsaturated Zone of Soil for Estimating the Recharge Rate and Flow Exchange between a River and an Aquifer. *Water Resources Management* 34, 425-443