

Modelamento hídrico: um estudo de caso da refinaria REMAN

Modelado hídrico: un estudio de caso de la refinería REMAN

Matheus Raiol Nascimento Gaya^{1,2*}, Bertha Pfiz Lopes^{1,2}, Leidy Stefanny Camacho-Galindo³; Raúl Salinas-Silva³, Fernando Antonio da Silva Fernandes², Vando José Costa Gomes^{1,2,4}, Camilo Andrés Guerrero-Martin^{1,2,4}

¹LOTEP Laboratorio de Operações e Tecnologias Energéticas Aplicadas na Indústria do Petróleo, Faculty of Petroleum Engineering, Federal University of Pará, Salinópolis, Brazil.

²Faculty of Engineering, Federal University of Pará, Salinópolis, Brazil.

³Fundación de Educación Superior San José. Bogotá – Colombia

⁴LEEPER - Laboratório de Ensino de Engenharia de Poço e Reservatórios, Faculty of Petroleum Engineering, matheus.gaya@salinopolis.ufpa.br

Recibido: 25 de marzo, 2022. Aprobado: 15 de noviembre, 2022. Versión final: 28 de noviembre, 2022.

Resumen


O presente artigo visa abordar a importância da gestão hídrica na refinaria Isaac Sabbá (REMAN), localizada em uma das maiores bacias hidrográficas do mundo, bem como, com base em simulações realizadas com o auxílio da ferramenta WEAP, prever determinados comportamentos hidrológicos a partir de determinadas pressuposições dadas.

Palavras-chave: Gestão hídrica; Hidrologia; Refinaria; Amazônia.

Abstract

This article aims to explain the importance of water management at the Isaac Sabbá refinery (REMAN), located in one of the largest hydrographic basins in the world, as well as, based on simulations carried out through WEAP tool, predict certain hydrological behaviors from certain given assumptions.

Keywords: Water management; Hydrology; Refinery; Amazon.

Como citar: Nascimento Gaya, M. R., Pfiz Lopes, B., Camacho-Galindo, L. S., Salinas-Silva, R., da Silva Fernandes, F. A., Costa Gomes, V. J. & Guerrero-Martin, C. A. (2022). Modelamento hídrico: um estudo de caso da refinaria REMAN. *Fuentes, el reventón energético*, 20(2), 91-101. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n2-2022008> 

1. Introdução

A água ocupa um lugar de destaque dentre os recursos naturais por ser inerente à condição de sobrevivência do homem. É responsável por conter o equilíbrio da vida no planeta que habitamos.

Com o crescimento desenfreado dos centros urbanos e a expansão demográfica e industrial, existe uma necessidade cada vez maior de utilização desse recurso. Muitas vezes a água não está disponível na quantidade em que é necessária.

Os resultados que se obtêm desse fato são impactos ambientais e a má qualidade desse recurso tão indispensável para a vida humana [1,2].

A gestão de recursos hídricos tem a finalidade de manutenção da confiabilidade no abastecimento, sendo a base para a tomada de decisões e planejamento de todas as demais cadeias de produção. Essa gestão deve incluir todas as atividades necessárias a fim de criar princípios e diretrizes, documentos normativos e sistemas gerenciais para que haja o uso, controle e proteção da água como recurso.

Nas indústrias, a depender do processo industrial, a água pode ser considerada tanto matéria-prima, sendo incorporada ao produto, como uma ferramenta na preparação de matérias-primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento e/ou refrigeração ou nos processos de limpeza de equipamentos, etc [1-3].

No Brasil, dentre todas as atividades que consomem água, as indústrias representam um total de 7%, o que define esse setor como grandes consumidores [1]. A indústria do refino de hidrocarbonetos requer a utilização de extensa quantidade de água, sendo, portanto, de fundamental importância no processo. A utilização de água, mesmo que em grandes volumes, é variável conforme a refinaria, uma vez que fatores como, configuração, complexidade, capacidade e a localização da refinaria pode influenciar na utilização deste recurso.

Em valores de referência, utiliza-se de 0,34 a 0,41 barris de água para cada barril de petróleo produzido, entretanto, para a produção de gasolina, o consumo aumenta, em média são utilizados de 0,60 a 0,71 galões de água para a produção de um galão de gasolina.

Pode-se dizer que, a água é majoritariamente utilizada nas seguintes funções:

- Água de serviço: Utilizada em demandas as quais não estavam previstas previamente em projeto.
- Água potável para utilização humana: Utilizada em locais como cozinhas, copas, banheiros etc.
- Água para combate a incêndio: Utilizado em casos em que haja intercorrências nas dependências da refinaria.
- Água para processo: Utilizada em específico no refino do hidrocarboneto. É considerada água de processo toda e qualquer água que tiver tido contato com o petróleo.
- Água para geração de vapor: Utilizada nas caldeiras para geração de vapor, demandam o uso de água de melhor qualidade e tratamento mais rigoroso.
- Água de resfriamento: A utilização da água para o resfriamento é extensamente utilizada nas refinarias, com a finalidade de remover o calor de produtos, correntes internas de processo e equipamento. O volume de água utilizado neste processo é de cerca de 50% do volume total de água fresca consumida em refinarias.

Segundo o plano estadual de recursos hídricos do Amazonas (PERH-AM) de 2019, a utilização da água no estado representa uma demanda total de 30,5 m³/s. Esta demanda está dividida entre diversos setores, de forma heterogênea. A divisão de consumo hídrico no estado segundo o PERH foi dada da seguinte forma:

- Abastecimento humano com atendimento.
- Abastecimento humano sem atendimento.
- Indústria.
- Pecuária
- Irrigação

Na Figura 1 pode-se observar a refinaria REMAN.



Figura 1. Vista aérea da UN-REMAN.
Fonte: Google Imagens.

De outro lado, a Figura 2 apresenta a demanda hídrica do estado do Amazonas.

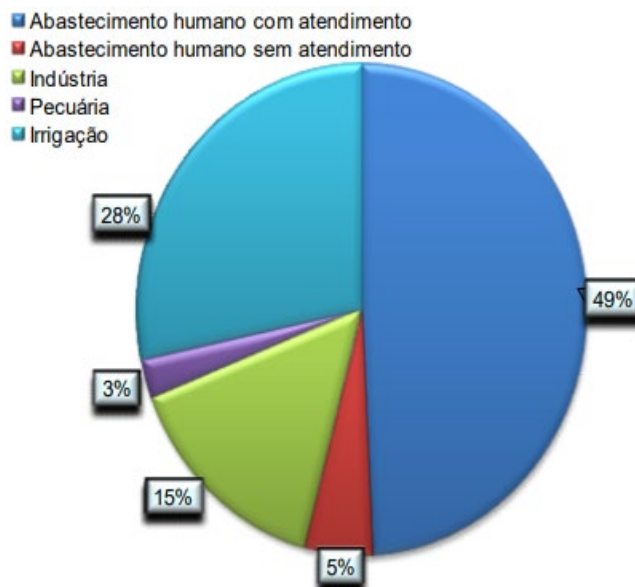


Figura 2. Demandas totais de água (m³/s) no Estado do Amazonas.
Fonte: [3,4]

A refinaria Isaac Sabbá foi fundada pelo empresário de mesmo nome da refinaria, inaugurada oficialmente em 3 de janeiro de 1957, quando à época, tinha uma produção de 5 mil bbl/dia. Em 1971, houve a estatização da refinaria e seu controle repassado a Petrobras, recebendo o nome de Unidade de Negócios da Petrobrás no Amazonas – Refinaria de Manaus (UN-REMAN). No ano de 2022, o Conselho Administrativo de Defesa econômica (CADE) autorizou a venda da REMAN ao grupo REAM participações S.A, visando atender preocupações de ordem concorrencial que foram identificadas pelo próprio conselho.

Hoje em dia, a REMAN conta com um parque totalmente modernizado, sendo sua capacidade de processamento da ordem de 46 mil barris por dia, a maior parte, cerca de 93% são provenientes da província petrolífera de Urucu e 7% da bacia de Campos.

Os principais produtos desenvolvidos pela UN-REMAN são GLP (gás de cozinha), QI (querosene de iluminação), QAV (gasolina, querosene de aviação), OD (diesel), OC-01 A e OC-02 A (óleos combustíveis), MF-180 (óleo para embarcações), asfalto e álcool. A produção da refinaria abastece os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima e Amapá.

Localizada às margens do rio negro, a refinaria está dentro do distrito industrial de Manaus, no estado do Amazonas, região norte do Brasil e ocupa uma área de 9,8 Km², contribuindo em aproximadamente R\$ 500 milhões/ano para o Imposto sobre Operações relativas à circulação de Mercadorias e prestação de Serviço (ICMS) da região.

O uso de água na refinaria é em parte proveniente do aquífero Alter do chão, através de água de poço (COLLARES, 2004), que abastece também cerca de 40% da capital. É reconhecido como o maior aquífero do mundo em volume de água disponível, sendo seu valor de volume estimado em 86.4 mil Km³ de água. Faz parte do abastecimento também, água oriunda da Unidade de Planejamento Hídrico (UPH) do baixo Negro, que predominantemente abastece toda região metropolitana de Manaus.

Diante disto, na Figura 3 observa-se as demandas totais por Unidade de Planejamento Hídrico. No entanto, a Figura 4 amostra a distribuição do uso do recurso hídrico em cada UPH. É importante clarificar, que a demanda hídrica deve ser avaliada antes de qualquer operação da indústria do petróleo.

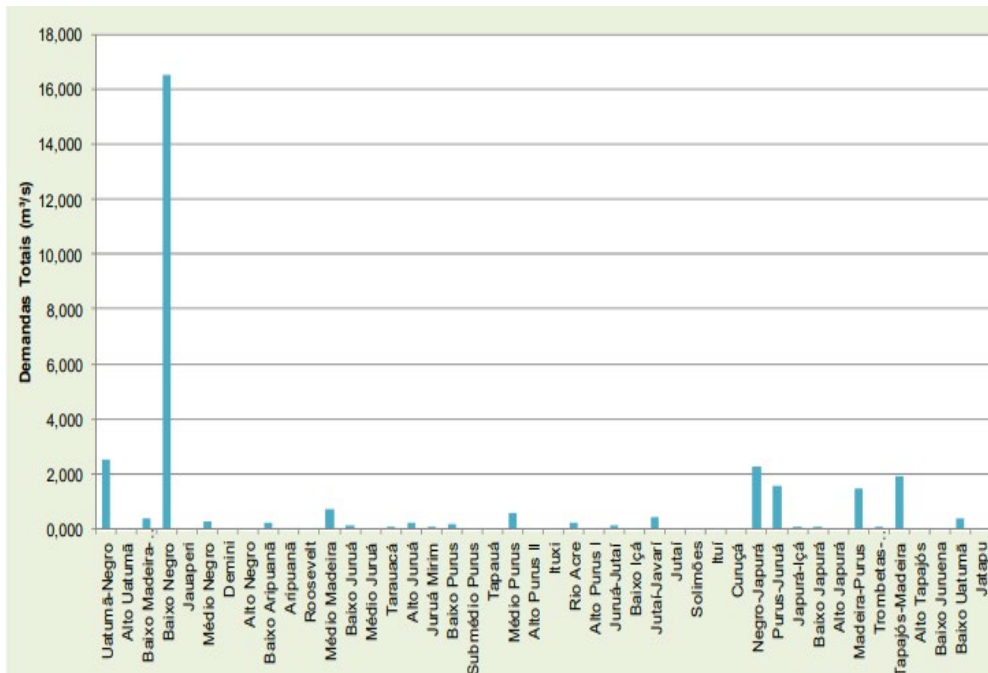


Figura 3. Demandas totais de água por UPH.
Fonte: Perh (2019).

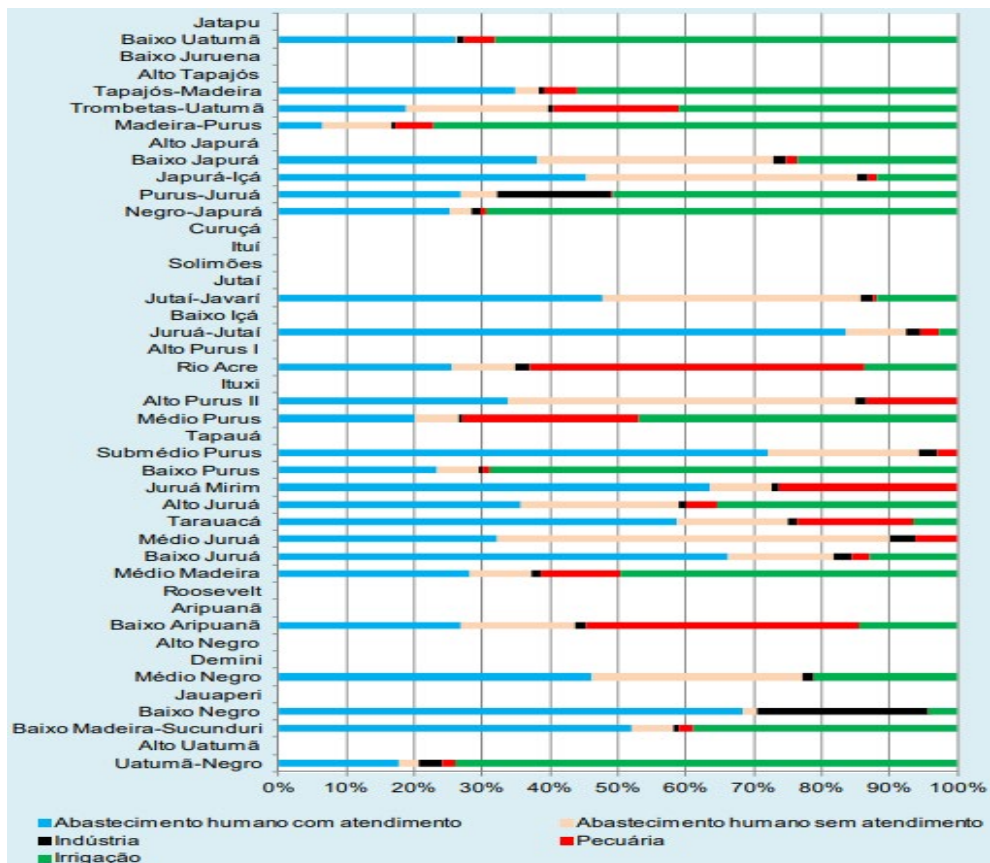


Figura 4. Distribuição de cada uso de água frente à demanda total em cada UPH do Estado do Amazonas.
Fonte: Perh (2019)

A refinaria de Manaus se diferencia das demais refinarias brasileiras por estar localizada em uma região privilegiada, onde não existe estresse hídrico, porém são grandes as medidas ambientais adotadas dentro dela. Uma das medidas mais eficazes é o sistema de tratamento de efluentes líquidos, que garante a qualidade da água utilizada durante o processo e que é devolvida ao rio Negro. Atividades de responsabilidade ambiental são desenvolvidas por meio de parcerias e órgãos governamentais, como

o Instituto de Proteção Ambiental da Amazônia (IPAAM), Instituto de Pesquisa da Amazônia (INPA), Universidade Tecnológica do Amazonas (UTAM) e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

A Figura 5 apresenta a localização das refinarias no Brasil e interconecta a demanda hídrica crítica.

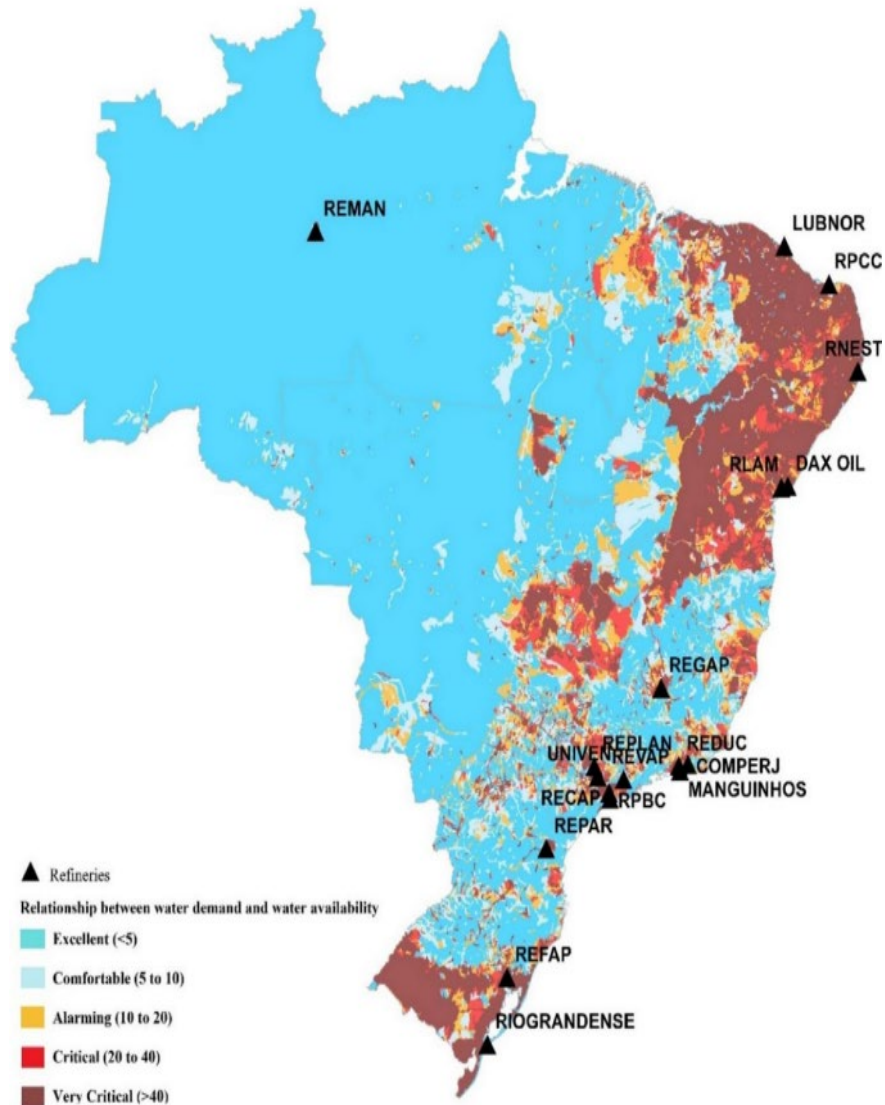


Figura 5. Localização das refinarias brasileiras e indicador de criticidade hídrica de sub-bacias no Brasil.

Fonte: [1,2]

Com base nessas informações, este artigo propõe-se em elucidar comportamentos hídricos da refinaria REMAN baseados em simulações realizadas a partir

da ferramenta *WEAP*, em três cenários distintos, os quais poderemos tomar como referências para moldar ações de planejamento hídrico em breve.

2. Metodologia

2.1. Modelo utilizado no balanço hídrico

O modelo de balanço hídrico deste artigo seguiu o modelo proposto no PERH-AM de 2019, onde considerou-se a UPH como unidade de balanço e então foi definida como disponibilidade 75% da vazão e 95% de permanência no exutório do rio principal da UPH.

2.2. Modelo Weap

Primeiramente, foi configurado o mapa esquemático, e em seguida, foram configurados parâmetros básicos, como o horizonte temporal, áreas de captação, componentes do sistema e os ajustes do problema que serão avaliados.

No modelo construído, foi simulado um horizonte temporal de 20 anos, sendo o ano inicial $T_0 = 2022$ e o ano final $T_F = 2042$, a fim de avaliar a mudança da disponibilidade hídrica em razão dos diversos usos da água na UPH.

Para local de demanda, assumiu-se a existência de três pontos: Manaus, REMAN e a Zona franca. O consumo de água em Manaus foi obtido a partir do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município (Manaus, 2014), sendo de $0,527 \text{ m}^3/\text{habitante}$. Para a REMAN, foi considerado o Índice de Consumo de Água médio das refinarias, fornecido por AMORIM (2005) de $2,940 \text{ m}^3/\text{s}$. Por fim, para a Zona franca, o PERH de 2019 institui que a demanda é de $4,135 \text{ m}^3/\text{s}$ de água.

Foi considerado um ponto de descarga, nomeado de Estação de Tratamento de Água (ETA), onde todos os locais de demanda descargam sua água efluente para o ETA e após isso a água é retornada ao rio Amazonas, como pode observado na Tabela 1.

Tabela 1. Local de demanda e grau de prioridade

Local de demanda	Grau de prioridade
Manaus	1
REMAN	2
Zona franca	3

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

Os graus de prioridade foram definidos em ordem crescente, para que, em caso de escassez ou limitação hídrica, o corte de água deva acontecer em ordem

decrecente, a fim de maximizar a entrega de água aos locais de demanda.

Foi definido como área de captação o aquífero Alter do chão, assumindo um valor de armazenamento inicial de $86,4 \text{ Km}^3$ de água e com uma máxima de retirada de 15% do valor do armazenamento, $12,96 \text{ Km}^3$ de água disponível. Da mesma forma, para a área de captação do rio negro, foi definida uma vazão variável, com mínima de $5 \text{ mil m}^3/\text{s}$ a máxima de $70 \text{ mil m}^3/\text{s}$. Os valores fornecidos tiveram base nos dados informados pelo PERH-AM de 2019 (Ver Figura 6).



Figura 6. Mapa esquemático do modelo Weap.
Fonte: Elaboração própria

2.3. Parâmetros para os cenários construídos

Foram desenvolvidos três cenários distintos a partir do modelo para realizar a simulação, os quais foram nomeados de: Tendencial, Crítico e Recessão. Para cada cenário criado, parâmetros de fluxo do rio e do aquífero e consumo dos locais de demanda foram alterados de acordo com o cenário. Cada simulação irá disponibilizar para avaliação o impacto de diferentes cenários de oferta e demanda de água, opções de gestão, e avaliar a disponibilidade hídrica dentro da região de estudo.

2.3.1. Cenário Tendencial

Para esta simulação foram utilizados como base os dados inseridos no modelo WEAP de “contas atuais” para o ano de 2022 acrescidos das projeções de crescimento da demanda de uso de água, fornecido pela conjuntura de recursos hídricos no Brasil da Agência Nacional de Águas (ANA) do ano de 2021, para cada variação mensal para os 20 anos simulados no cenário.

Neste cenário foram mantidos a mesma vazão do rio e do aquífero, pressupondo que ao longo dos anos não ocorra alterações nesse meio (Tabela 2).

Tabela 2. Local de demanda e % de aumento de demanda ao ano.

Local de demanda	% de aumento
Manaus	0,285
REMAN	3,125
Zona franca	1,277

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

2.3.2. Cenário Crítico

O objetivo deste cenário é simular uma possível situação em que a REMAN se encontre em um local com as áreas de captação fornecendo menos recursos hídrico e com os locais de demanda apresentando um expressivo aumento na demanda de água.

Os dados foram baseados no modelo weap de “contas atuais”, para a área de captação do aquífero Alter do Chão foi adotado um valor de 1,5% menor a cada ano em relação ao ano anterior, durante o intervalo de 20 anos.

A tabela a seguir mostra o aumento do consumo de água nos respectivos locais de demanda (Tabela 3).

Tabela 3. Local de demanda e % de aumento de demanda ao ano.

Local de demanda	% de aumento
Manaus	3,45
REMAN	3,485
Zona franca	3,8

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

2.3.3. Cenário Estagnação

Este cenário foi configurado para simular uma possível crise econômica, onde os níveis de vazão das áreas de captação se mantêm ao longo do intervalo de tempo simulado, entretanto, há uma brusca diminuição na procura por consumo hídrico na região.

A tabela a seguir ilustra o percentual de decréscimo do nível de demanda unitária anual (Ver Tabela 4).

Tabela 4. Local de demanda e % de decréscimo de demanda ao ano.

Local de demanda	% de decréscimo
Manaus	1,5
REMAN	1,4
Zona franca	1,05

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

3. Resultados e discussão

3.1. Demanda por água

A Figura 7 apresenta a demanda hídrica no modelo.

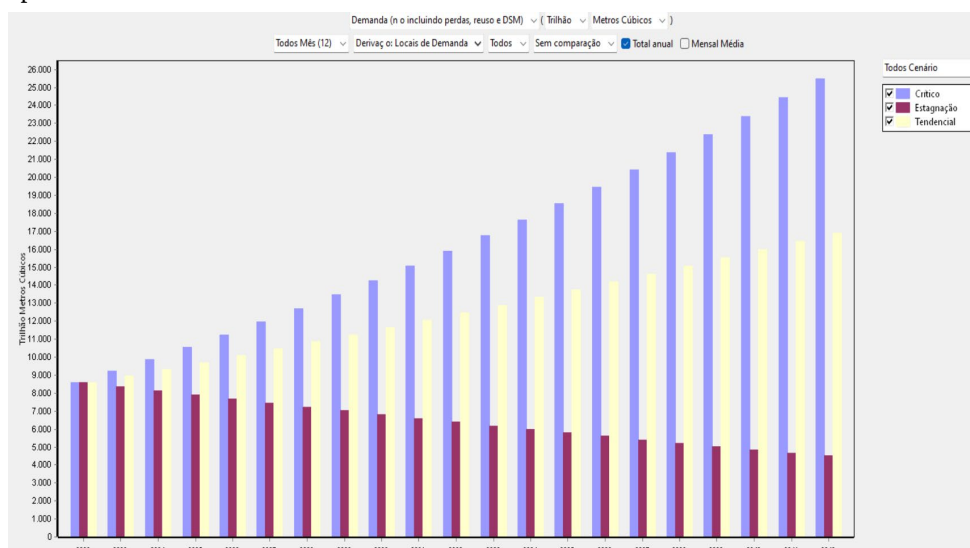


Figura 7. Demanda por água em cada cenário

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

A demanda por água variou muito conforme os parâmetros fornecidos em cada cenário. É notável que no cenário de Estagnação há uma queda no consumo de água, chegando ao fim dos 20 anos simulados com uma redução de quase 50% na demanda de recursos hídricos, isso ocorre uma vez que nesse cenário foi pressuposto que haveria uma queda brusca pelo consumo hídrico e pelo nível de atividade anual.

Ao visualizarmos os cenários Tendencial e Crítico nota-se uma crescente evolução na demanda por água, a qual ao decorrer dos anos se torna bastante acentuada no cenário crítico devido aos níveis de atividade anual se intensificarem ao longo dos anos. Ambos os cenários são preocupantes, uma vez que vivemos em um mundo com recursos limitados, logo, a busca por soluções que minimizem efeitos ambientais e diminuam o consumo de recursos hídricos devam ser de extrema prioridade aos Estados.

3.2. Armazenamento de água subterrânea

A Figura 8 apresenta a demanda hídrica no modelo.

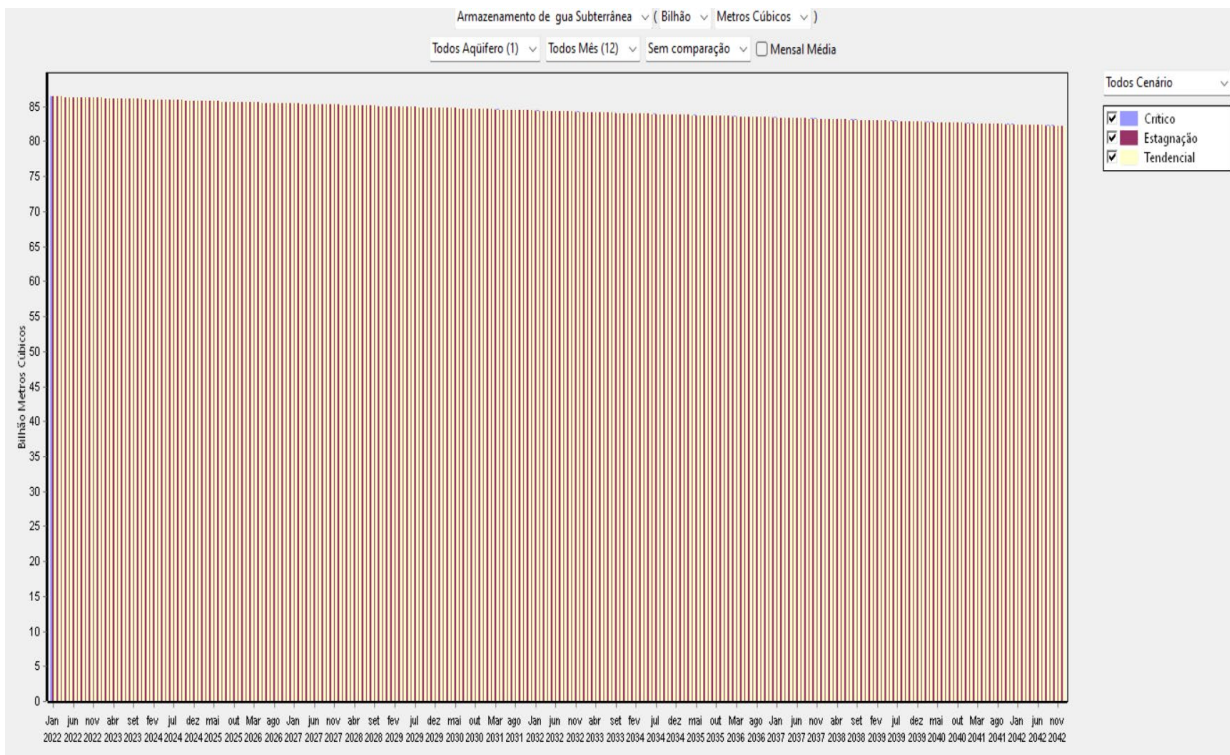


Figura 8. Armazenamento do aquífero para cada cenário.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

Pode-se observar que em todos os cenários há uma diminuição no nível de água armazenada no aquífero, entretanto isto já era esperado nessa simulação, uma vez que foram desconsiderados volumes de recarga do aquífero e somente foi usado os níveis de vazão de fluxo para os locais de demanda. Ainda assim, podemos ter

uma noção da grandeza do volume de água disponível no aquífero Alter do Chão, uma vez que, mesmo com os locais de demanda somente consumindo, ele ainda continua armazenando grandes volumes de água ao final da simulação.

3.3. Vazão total de água residuária na ETA

A Figura 9 apresenta a demanda hídrica no modelo.

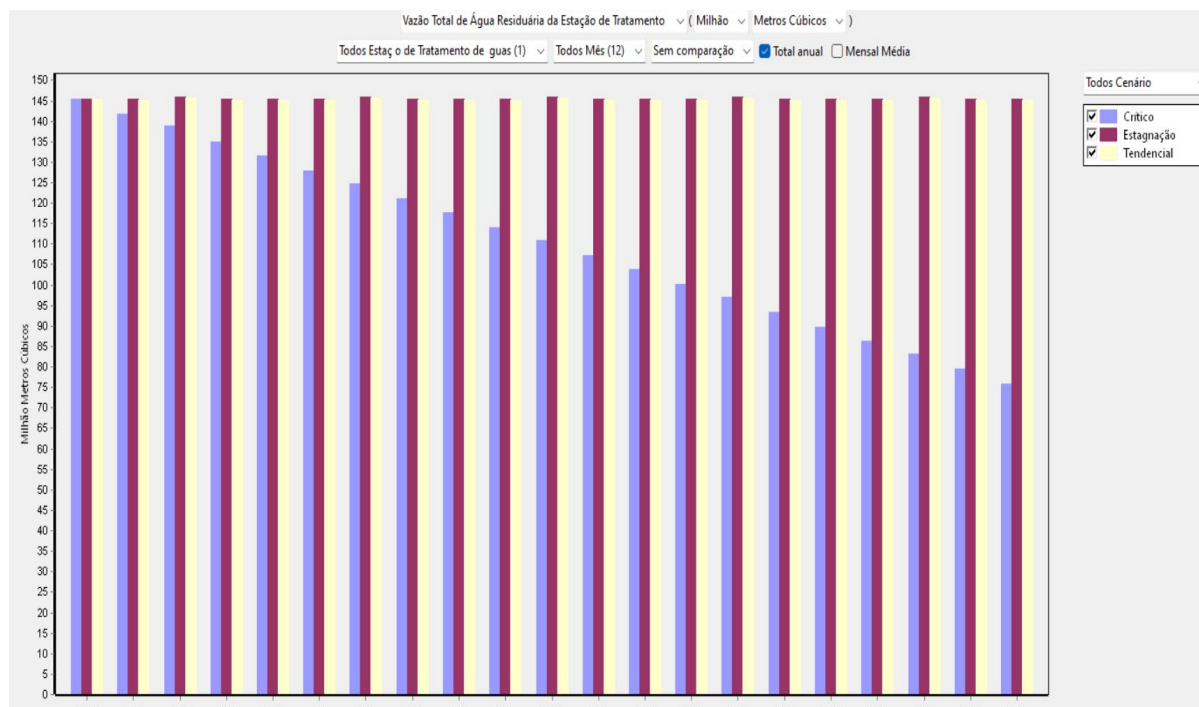


Figura 9. Vazão total de água residuária na ETA.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados criados.

A vazão na Estação de Tratamento de Água se mantém constante durante os cenários de Estagnação e Tendencial. O cenário crítico apresenta uma queda ao longo dos anos na vazão, isto é reflexo da queda no abastecimento de água aos locais de demanda, a crise hídrica simulada neste cenário faz com que tenha menos água de retorno ao ETA.

Os resultados obtidos denotam que independentemente do cenário simulado, os recursos hídricos da UPH ainda se mostram com um indicador de criticidade hídrica excelente, o que descarta a possibilidade que a REMAN se encontre em uma situação de estresse hídrico mesmo com as condições que foram simuladas ao longo dos 20 anos. Entretanto, os recursos disponíveis no globo são limitados e estão cada vez mais escassos. Por isso muito se fala na indústria no reaproveitamento de água, na maximização do aproveitamento de materiais, redução do lançamento de gases de efeito estufa e no tratamento de efluentes.

Como forma de melhorar os índices de demanda de água, contribuir para a preservação do armazenamento

de água subterrânea e descartar menos agentes poluidores ao meio, muitos autores recomendam o tratamento de efluentes para reuso na refinaria.

O tratamento de efluentes pode trazer tanto benefícios ambientais quanto econômicos, que dependerá do tipo de tratamento que será aplicado (primário, secundário ou terciário). Para um tratamento secundário de refinaria, devem ser considerados os seguintes aspectos [4-7]:

- Caracterização completa do efluente;
- O nível de sólidos dissolvidos que pode ser reduzido por: coagulação-floculação, sedimentação/filtração por areia, microfiltração, ultrafiltração;
- Nível de matéria orgânica na forma dissolvida que pode ser reduzida por adsorção com carvão ativado, oxidação química, osmose inversa; para matéria-orgânica na forma sólida, pode-se usar ultrafiltração;
- Custos operacionais e de capital;
- A possibilidade de integrar os projetos de tratamento propostos com as instalações existentes.

Dentre os métodos de tratamento de efluentes, um dos mais eficazes é o terciário por possuir a finalidade

de remoção de íons para a obtenção da qualidade adequada ao reuso, a qual fornecerá água a torres de resfriamento e/ou caldeiras, que são os locais que mais demanda água nas etapas de refino.

Outros autores, compararão o tratamento de efluentes integrado à uma metodologia de integração de processo, conhecido como *Water pinch*², que torna mais economicamente atraente o investimento em minimização do consumo de recursos hídricos [7 - 12].

Também são cogitadas nos parques de refino opções como reuso de água de processo, uso de resfriadores a ar, utilização de água pluvial e utilização de água de esgoto tratada. Deve-se realizar estudos quanto à aplicabilidade de todas essas opções para a REMAN, principalmente as que já se mostraram favoráveis em outras refinarias brasileiras, a fim de se reduzir o consumo hídrico e contribuir para uma indústria cada vez mais sustentável.

Referências

- [1] Agarwal, S., Patil, J. P., Goyal, V. C., & Singh, A. (2019). Assessment of water supply–demand using water evaluation and planning (WEAP) model for Ur River watershed, Madhya Pradesh, India. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 100(1), 21-32.
- [2] Agência Nacional das Águas (ANA). (2019) “*Plano estadual de recursos hídricos do Amazonas – PERH/AM*. Relatório técnico RT 03 – Diagnóstico, prognóstico e cenários futuros dos recursos hídricos do Estado”, Tomo II. http://meioambiente.am.gov.br/wpcontent/uploads/2016/04/Produto-II-Diagn%C3%B3stico_Progn%C3%B3stico-e-Cen%C3%A1rios-volume-II.pdf.
- [3] Agência Nacional das Águas (ANA). (2019). “*Plano estadual de recursos hídricos do Amazonas – PERH/AM*. Relatório técnico RT 03 – Diagnóstico, prognóstico e cenários futuros dos recursos hídricos do Estado”, Tomo I. https://pdfhost.io/v/QtyUKCywXg_Produto-II_Diagnostico_Prognostico_e_Cenrios_volume-Icompactado_compressedpdf.pdf.
- [4] Agência Nacional das Águas (ANA). (2021).
- [5] Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021. <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/apresentação>
- [6] Da Silva, G. N., Rochedo, P. R., & Szklo, A. (2022). Renewable hydrogen production to deal with wind power surpluses and mitigate carbon dioxide emissions from oil refineries. *Applied Energy*, 311, 118631.
- [7] Fill, H.D., Santos, I., Fernandes, C., Toczeck, A., Oliveira, M.F., “Balanço hídrico da bacia do rio barigui-pr”, *Raega*, 9. <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3447>
- [8] Guedes, F., Szklo, A., Rochedo, P., Lantz, F., Magalar, L., & Arroyo, E. M. V. (2019). Climate-energy-water nexus in Brazilian oil refineries. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 90, 102815.
- [9] Guerrero Martin, C. A., & Montes Páez, E. (2017). Efeito da salinidade na tensão interfacial do sistema óleo/água em condições isobáricas e incremento gradual da temperatura. *Fuentes, El reventón energético*, 15(2), 117–124. <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017010>
- [10] Hespanhol, I., Mierzwa, J. C. (2005). *Água na indústria: uso racional e reuso*. Oficina de textos. https://www.google.com.br/books/edition/%C3%81gua_na_ind%C3%BAstria/V1iXBAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&printsec=frontcover
- [11] Laranjeira, M. I. A. (2009). *Demanda de retirada de água, consumo e lançamentos de efluentes pelas indústrias de Manaus através de cadastro de usuários*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Amazonas – UEA). <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/bitstream/riuea/2888/1/Demanda%20de%20retirada%20de%20%C3%A1gua%20consumo%20e%20lan%20amento%20de.pdf>.

- [12] Martínez-Hernández, J., Parra-Reyes, N., Guerrero-Martín, L. E., Camacho-Galindo, L. S., Salinas-Silva, R., Guerrero, W. A., & Guerrero-Martín, C. A. (2022). A SWOT Analysis for Wind Energy Potential Assessment in Colombia. *Revista Fuentes, El Reventón Energético*, 20(1), 45–56. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022005>
- [13] Ortega Ramírez, A. T., Marín Maldonado, D. F., & Ochoa Rodríguez, E. D. (2019). Revisión general de la producción elevada de agua en la industria del petróleo. *Fuentes, El reventón energético*, 17(2), 39–50. <https://doi.org/10.18273/revfue.v17n2-2019005>