

Sustentabilidade: Algumas questões sobre arsênico e dessalinização de água do mar

Autor: Juan M. I. Pascual

Introdução:

Toda e qualquer atividade humana afeta o meio ambiente. A pegada ecológica no planeta poderia ser pensada como o impacto que o ser humano, individualmente ou em conjunto, causa ao planeta. Existem vários indicadores dessa pegada e alguns são (WEF Brasil, s.d.):

Pegada Ecológica – Onde se busca identificar e se possível mensurar os impactos da ação humana sobre a natureza, pode-se abordá-la como:

Pegada de Carbono – Trata dos impactos da humanidade sobre a biosfera. Impacto este acentuado durante e após a revolução industrial com o uso de combustíveis fósseis e aumento de gases de efeito estufa na atmosfera (CETESB, 2022). Atualmente se busca reduzir esta pegada com o uso de combustíveis verdes, renováveis, reflorestamento etc.

A indústria siderúrgica é um importante contribuinte na emissão de gases de efeito estufa. De 5 a 8% no montante global, a depender da referência.

Para cada kg de aço produzido são liberados cerca de 1,8kg de CO₂ (Joint Research Centre, 2022) (Gerres, Lehne, Mete, Schenk, & Swalec, 2022). A questão de diminuir esta pegada, ou seja, a descarbonização, envolve muita pesquisa e investimentos. Além de uma abordagem óbvia de reciclagem para a redução de emissões.

Atualmente neste cenário, a dualidade responsabilidade social/ambiental e

sustentabilidade/viabilidade do negócio mostra-se, por vezes, conflitantes. Entretanto soluções são possíveis (Hoffmann, Van Hoey, & Zeumer, 2020), por exemplo na indústria siderúrgica de minerais ferrosos, diversas otimizações de processo, consumo de coque e gás de síntese, *syngas*, além de abordagens inovativas como o uso de hidrogênio podem ser tecnicamente viáveis no momento ou a curto prazo (Peplow, 2021).

Pegada Hídrica – Trata dos impactos que as atividades humanas causam na hidrosfera, no consumo e na qualidade de água nestas etapas. Ainda que a quantidade de água seja enorme ela não está uniformemente distribuída. Além disto, a disponibilidade de água pouco poluída e próximo a seus consumidores tem sido diminuída, em termos absolutos e em disponibilidade *per capita*. Tradicionalmente os grandes centros urbanos sempre estiveram próximos a fontes de água para agricultura dessedentação de animais e consumo humano. Isto evidencia a importância da água para o homem.

À medida que as cidades crescem e prosperam frequentemente há um maior consumo de água. Com o passar dos tempos a geração de esgotos e resíduos destas aglomerações humanas começou a ser percebido e surgiu a percepção de água segura, a qual nem sempre se encontrava próxima. No Brasil o consumo diário de água por família situa-se entre 83 e 143 L per capita (IBGE, 2022)

Ressaltamos que estas definições, ou seja, a abordagem qualitativa, bem como suas quantificações, frequentemente são discutíveis e nem sempre isentas de contestações. Isto tende a ser ruim pois pode se tornar um subterfugio negacionista para postergação na abordagem da solução do programa de crise ambiental.

Esta necessidade ambiental de menor impacto de atividades humanas cada vez é mais frequente e usual no dia-a-dia. (DePersio, 2020). Infelizmente nem sempre o que se vende como sustentabilidade, ou ESG - *Environmental, Social and Corporate Governance* (Meio ambiente e Governança Social e Corporativa), realmente o é, ou seja o conceito com forte apelo ecológico e mesmo de eficiência operacional frequentemente é usado de modo não apropriado por empresas que não seguem este conceito, esta “apropriação indevida” tem um termo próprio: *greenwashing* (Opsan, 2022).

Para investidores que desejam apoiar negócios e empresas que seguem estas iniciativas, separar o joio do trigo nem sempre é fácil e a proliferação de siglas e conceitos não torna a tarefa mais simples. No Brasil a B3, a bolsa de valores brasileira, apresenta informações dos Produtos e Serviços ESG, disponíveis, em sua página em <https://bit.ly/3eTkACj>.

A queima de combustíveis fósseis e diversas atividades humanas tende a gerar gases de efeito estufa e o uso de créditos de carbono é um paliativo para mitigá-los. A Fundação Getúlio Vargas, em seu Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, <https://bit.ly/3xzvYK8>. É uma rica fonte de dados e referências no assunto, inclusive na precificação do carbono.

Criptomoedas, são frequentemente citadas como grandes consumidores de energia em suas operações de criação, validação. O modo de processar as chaves de segurança demanda muito esforço computacional e

para tanto gasta-se energia. Uma das moedas mais comercializadas, o *Ethereum*, em Setembro de 2022, ao fazer uma atualização, Merge, alterou o procedimento de validação do cripto ativo reduzindo assim o consumo mundial de energia (CCRI, Crypto Carbon Ratings Institute, 2022).

O meio ambiente está impactado pelo homem e isto causa um desequilíbrio agravado por adensamentos populacionais e uso intensivo de recursos, afetando o meio-ambiente.

O **ciclo de água** frequentemente impõe desafios desiguais à população a depender de sua localização. Aparentemente os menos favorecidos são os mais prejudicados.

Neste artigo vamos buscar abordar a questão do tratamento de águas para uso potável, uso este que frequentemente atende a demanda industrial. Também, se buscará um enfoque na destinação adequada e/ou valorização dos resíduos de tratamento.

As atividades humanas tendem a gerar algum resíduo, não necessariamente na forma sólida. Aqui neste artigo, nosso enfoque será em tratamento de águas, ou seja, o conjunto de operações nas quais, os resíduos são, mas não se limitam a: descarte dos lodos gerados, contra lavagens de filtros (Guerra & Angelis, 2005).

Resíduos são objeto de diversas normas, especificamente a ABNT os trata na NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação) (CETESB, 2008). Nesta NBR, os resíduos são classificados em:

a) **resíduos classe I – Perigosos**. Apresentam uma ou mais das seguintes características: Inflamabilidade, Reatividade, Toxicidade, Corrosividade e Patogenicidade;

b) resíduos classe II – Não perigosos;

– resíduos classe II A – Não inertes: Podem apresentar propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

– resíduos classe II B – Inertes: São aqueles em que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, e excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, nenhum de seus constituintes solubilizados apresente concentração superior aos padrões de potabilidade de água.

A água deve atender a requisitos específicos de qualidade para seu consumidor. Especificamente para consumo humano, a legislação brasileira requer o cumprimento da portaria GS/MS 888/2021 (Ministério da Saúde, 2021). Estes padrões de potabilidade, são objeto de contínua análise, e acompanhamento sofrendo revisões periódicas. A questão em vista é que a água, apesar da clássica definição de incolor, inodora e insípida deve ser segura, de modo auditável, para consumo.

Processo de tratamento de água

A água é conhecida como solvente universal, pois tende a solubilizar e carrear consigo a maior parte das substâncias com as quais esteve em contato.

A água de origem subterrânea tende a carrear alguns dos minerais presentes nas rochas do aquífero. Por exemplo: geologia, níveis de lençóis freáticos e sazonalidade podem implicar em grandes variações na qualidade de água, por vezes a captação subterrânea é profunda. Um bom exemplo se dá na captação em Presidente Prudente

– SP, onde a SABESP capta água a cerca de 1800m de profundidade.

As águas superficiais ainda que frequentemente apresentem menores variações de salinidade apresentam mais cor, turbidez e matéria orgânica.

Adequar as águas para consumo humano e atender aos requisitos da portaria GS 888, requer, a depender do manancial, quer seja superficial e/ou subterrâneo, as operações unitárias usuais típica são:

- Captação;
- Coagulação com sais de alumínio e/ou ferro para a insolubilização de coloides e sólidos responsáveis por cor, turbidez, além de alguns contaminantes;
- Separação dos sólidos coagulados por meio de decantação e menos frequentemente flotação;
- Filtração para a remoção de sólidos. Frequentemente a filtração é feita por filtros de leito granular, areia ou areia/carvão. Entretanto sistemas de membranas têm se mostrados mais competitivos técnica e economicamente ao longo do tempo, apesar sua complexidade operacional;
- desinfecção para posterior distribuição e consumo.

Os sólidos gerados no processo de produção de água, principalmente nas etapas de coagulação/separação de sólidos e nos resíduos do processo de filtração devem ser descartados de modo ambientalmente responsável para evitar contaminar o meio-ambiente. Sua geração por vezes é variável, o PROSAB tratou deste assunto (Souza, et al., 1999). Tradicionalmente esta, infelizmente, não era a realidade, pois frequentemente os resíduos gerados no tratamento de água retornam ao meio-ambiente. Entendemos que o usuário tem obrigação de questionar a sua concessionária sobre sua operação e

assim avaliar se ela é responsável ambientalmente na totalidade de suas operações.

Os processos de membranas, consistem na utilização de membranas semipermeáveis, nas quais, por meio de adequada pressão inversamente proporcional a sua porosidade, a água pode atravessá-la. Comercialmente existem membranas de Microfiltração (MF), Nano Filtração (NF) e Osmose Reversa (OR).

MF: Permitem boa separação de sólidos e não demanda elevada pressão para sua operação;

NF: Têm uma retenção de sólidos mais eficaz que a MF. Permitem, inclusive, remover, ao menos parcialmente, algumas moléculas grandes e dureza presente na água;

OR: permitem a remoção de moléculas grandes e íons presentes na água bruta. Porém necessitam, em sua alimentação, de uma água sem sólidos dissolvidos e coloides, baixo SDI, isso para não comprometer sua membrana. Destas tecnologias de membranas, OR é a que demanda de mais energia para seu funcionamento.

Tecnologias **MF** e por vezes **NF** são empregadas para melhorar a qualidade e mesmo a capacidade de um sistema de produção de água a partir de fontes de baixa salinidade. Para sistemas tratando água salobra ou água do mar OR, pode ser uma solução aplicável.

Deve-se ter claro que nenhum processo de tratamento de água é 100% eficiente. Sempre haverá perdas, que por consumo em operações de limpeza, arrastes em subprodutos etc. Em um sistema de **OR**, a perda, apenas nesta etapa, é usualmente, superior a 20% e a corrente descartada, rejeito, ou salmoura, apresenta entre 3 e 4 vezes a salinidade da água em sua

alimentação. Sua utilização e destinação é um desafio.

Uma outra questão frequentemente relevada é o destino das membranas usadas, pois sua vida útil frequentemente é inferior a 5 anos, mesmo que adequadamente operada.

Processo de tratamento de água contendo arsênico

Na legislação ambiental, os padrões de lançamento de efluentes (sólidos, líquidos e gasosos), os requisitos de potabilização de água são um campo importante para a saúde pública e nosso relacionamento com o meio-ambiente. Com alguma frequência seus parâmetros são revisados tornando-se mais restritos. Este cenário mostra-se um bom convite para a adoção de políticas de consumo racional, redução de perdas, melhorias de processos, enfim a valorização do ser humano e da natureza para garantirmos um futuro sustentável as próximas gerações.

A portaria GS 888/2021 estabeleceu um prazo de 24 meses para atender o parâmetro de dureza na água que passa a ter um limite de 300 mg CaCO₃/L. Seguramente alguns sistemas produtores de água brasileiros deverão adequar-se, quer por sistemas tradicionais e de baixo custo de implementação como precipitação química, abrandamento a frio, quer por tecnologias mais sofisticadas e com maior custo de implementação com sistemas de membranas.

Outro contaminante crítico, ainda que não disseminado em todo o país é o Arsênico. Trata-se de um contaminante com diversas espécies químicas e que pode causar graves danos à saúde (Francesconi & Kuehnelt, 2004) (APHA AWWA WEF, 2020).

Em países andinos, dadas as características geológicas e de aridez, o problema de

arsênico é bastante severo e garantir a qualidade de água ofertada e a destinação correta de resíduos de tratamento é um desafio. O Chile enfrenta este desafio. No Peru a OMS e o *Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento* – OTASS ministraram palestras e treinamento no início deste ano (Pascual, 2022).

O limite de potabilidade para consumo humano é de 0,010mg As/L. No Brasil algumas ocorrências em águas são na região do quadrilátero ferrífero - MG, poços em algumas regiões do Rio Paraíba do Sul entre RJ e ES, poços subterrâneos no estado de São Paulo e no Amapá.

O Arsênico encontra-se presente em baixas quantidades em diversos alimentos. Apresenta-se em águas nas formas iônicas As^{3+} e As^{5+} . Usualmente seu tratamento envolve a oxidação para a valência As^{5+} e sua captura em coagulação por sais de ferro e/ou alumínio, ou ainda pelo uso de adsorventes diversos, algumas zeolitas ou ainda ferro metálico. O arsênico capturado no processo de floculação ficará retido no lodo. A etapa seguinte envolverá uma filtração eficiente podendo ser por filtração granular (filtros de areia e/ou carvão antracito) e/ ou MF.

Sistemas com deficiência de operação podem disseminar o problema, por exemplo, na linha de distribuição de água tratada (Camhaji, Elías, 2018). Os resíduos de uma estação de tratamento de águas devem ter destinação adequada e responsável.

Lançar os resíduos ao corpo hídrico ou no solo não é uma opção responsável, como também não é uma opção lançá-los na rede de esgotos ainda que esta opere de modo eficaz e rastreável.

Finalmente a água potável para atender os requisitos legais, preconizados na Portaria GS/MS 888/2021, que fixa o residual

adequado de oxidantes para sua garantia microbiológica.

Destinação de resíduos provenientes de tratamento de águas contendo arsênico

Se os lodos de uma estação de tratamento de água sem contaminantes críticos e nem sempre são objeto de destinação adequada, o problema torna-se potencialmente mais grave na disposição dos lodos contendo arsênico. Este último requerem uma criteriosa caracterização para sua correta destinação para evitar danos ao meio ambiente. Destinação esta que requer monitoramento.

O intemperismo consiste no conjunto de processos físicos, químicos e biológicos passíveis de afetar resíduos e rochas ao longo do tempo. O Arsênio e a grande maioria de seus compostos é particularmente sensível a estes processos e o contaminante retido na matriz do lodo/resíduo pode vir a ser liberado ao longo do tempo. Soluções especiais existem, porém, a elevado custo, mesmo se comparando a destinação a um aterro para resíduos classe I.

Obtenção de água potável a partir da água do mar

Dentre as soluções técnicas para enfrentar a insuficiência hídrica, começa-se a olhar as águas salobras, bem como os oceanos e mares como possível fonte de águas para potabilização. Entretanto estas águas, com elevada salinidade requerem processos especiais para consumo humano.

Atualmente a tecnologia de remoção de sais, dessalinização, que tem se mostrado mais popular quer para uso potável ou industrial, é a OR superando a Evaporação Térmica (Cagece). No Brasil não é diferente,

em Fortaleza – CE, há projeto de uma unidade de RO a partir de água do mar com produção de 1m³/s (Cezar, 2020). Já a ArcelorMittal conta com um sistema de OR com captação de 500m³/h de água do mar (Arcelor Mittal, 2019).

A alimentação de um sistema de OR requer condições estáveis e conhecidas e com virtual ausência de sólidos suspensos e coloides. Também requer a dosagem de biocidas aprovados à destinação para evitar crescimento microbiano nas membranas ou ao longo do sistema (Kavitha, Rajalakshmi, Phani, & Padaki, 2019). O monitoramento é complexo e contínuo.

Um fator crítico em sistema de OR a partir da água do mar, é que o elevado conteúdo de sais, conseqüentemente a alta pressão osmótica, irão demandar grande consumo energético no bombeamento; consumo este que pode ser reduzido com o uso de recuperadores de energia. Atualmente os mais eficientes são do tipo isobárico.

Deste modo o custo de implantação do investimento CAPEX e o custo operacional do investimento OPEX são altos e energia e membranas responde por boa parte do OPEX.

Uma das ressalvas frequentes a este tipo de projeto tem sido a questão de dispersão da pluma salina gerada no descarte da corrente de salmoura concentrada no processo de OR e seu impacto na fauna da área de influência da dessalinizadora. Assunto que tem debates acalorados e por vezes controverso, porém é algo a ser tratado nos projetos de EIA-RIMA.

A salinidade da água produzida por vezes necessita de ajustes para adequar seu gosto ou para seu uso (Lesimple, Ahmed, & Hilal, 2022).

Valorização da corrente de rejeito de um sistema de dessalinização por OR

Em uma abordagem de Química Verde, *Green Chemistry*, fica evidente a questão a respeito do motivo de se descartar a corrente concentrada de insumos, com eventuais impactos ao meio ambiente. Muitos produtos são passíveis de uso industrial reduzindo, assim, sua pegada ambiental e otimizando sustentabilidade, bem como viabilidade econômica. Deve-se buscar otimizar processos para que sejam mais eficientes, gerem menos resíduos e, se possível, apresentem menor custo final. Enfim, menos poluidores, menos perigosos e mais sustentáveis.

Este é um tópico atual e é o que se chama de mineração de água do mar, Ocean Brine mining (Bardi, 2010) (Aladyr, 2022).

Por que não se buscar recuperar sais presentes no efluente a descartar da corrente concentrada, rejeito ?

Em um cenário atual a viabilidade econômica de obtenção de alguns sais e minerais parece factível: Bromo, Cloreto de sódio, Estrôncio, Lítio, Magnésio. Desta maneira uma unidade produtora de água a partir de água por mar, passa a ser uma unidade produtora de água e de mineração, com uma otimização de custos. Essa é uma questão técnico econômica, porém, a cada dia mais viável, para por exemplo:

- Obtenção de cloreto de sódio quer para uso em uma unidade produtora de cloro/soda produzindo cloreto de sódio;
- Obtenção de sais de magnésio;
- Menos viáveis economicamente no momento, mas tecnicamente passíveis de aproveitamento são Lítio e Rubídio.

O retorno do investimento e custo operacional podem ser otimizados.

Conclusão

Uma tecnologia frequentemente enfrenta muitos desafios, entre estes podemos citar: mitos, os empirismos, opinião desfavorável e a falta de critério. Provavelmente você ou alguém que você conhece já se deparou com sistemas de tratamento de águas, que não performavam a contento. Certamente a causa disto é alguma das razões abaixo ou ainda uma combinação delas:

- Erro de concepção e execução do projeto. Poucas exceções são universais e sempre validas, na área de tratamento de águas e de resíduos. Esta máxima é válida, além disto frequentemente requerem experiência e conhecimento multidisciplinar,
- A realidade atual e o água bruta ou efluente, sua composição e vazão se alteraram ao longo do tempo. A legislação impõe limites mais rígidos;
- Deficiências de operação controle e manutenção. A mesma condição vale para um avião, uma bicicleta, um programa de computador e uma ETA, ETE e uma unidade de OR de grande porte.

Tendo claro estes pontos pode-se proceder a uma abordagem menos sujeita a contratemplos. Deste modo soluções na, planejamento e rastreabilidade de projetos, rota de química verde e sustentabilidade tendem por aproveitar uma matéria prima que antes seria resíduo. Além do mais, eventuais cadeias de logística podem, deste modo, ser otimizadas. E, se realmente for resíduo não passível de aproveitamento, este deve ser minimizado e ter disposição segura. O projeto aumenta sua sustentabilidade ambiental e econômica.

A natureza agradece, o meio ambiente agradece. Um verdadeiro *Save In Process*.

Autor

Juan Manuel Iglesias Pascual <http://www.save-in-process.com.br/>

Químico, com mestrado em saneamento ambiental. Profissional apaixonado pela química e suas aplicações na sustentabilidade objetivando melhorar a qualidade de vida e otimizar processos. Carreira desenvolvida na área ambiental com ênfase em sustentabilidade e ESG, foco no desenvolvimento de tecnologias, projetando, desenvolvendo e implementando soluções viáveis e operacionais. Atuação em estudos de viabilidade, coordenação de projetos, startup, revamp, comissionamento e descomissionamento, treinamento.

Na área de soluções químicas, desenvolvimento de soluções e sua melhor utilização e monitoramento, estabelecendo e conhecendo as limitações desta solução. Recuperação e minimização de resíduos. Procedimentos de *compliance*.

Referências

- Aladyr. (23 de Feb de 2022). OCEAN #BRINE MINING: A NEW FRONTIER IN #DESALINATION. Arabia Saudita. Acesso em 23 de Feb de 2022, disponível em <https://youtu.be/36-8OH-k0Zs>
- APHA AWWA WEF. (20 de may de 2020). *3500-As ARSENIC*. (A. W. American Public Health Association, Editor) Acesso em 20 de marzo de 2022, disponível em Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater: <https://bit.ly/3JbPsHC>
- Arcelor Mittal. (2019). *Dessalinização*. Fonte: <https://brasil.arcelormittal.com/dessalinizacao>
- Bardi, U. (9 de April de 2010). Extracting Minerals from Seawater: An Energy Analysis. *sustainability*, 2(4), pp. 980 - 992. Fonte: <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/4/980/pdf?version=1424776420>
- Cagece. (s.d.). *Planta de dessalinização de Fortaleza - Estudos de alternativas de locação*. Fortaleza: GS Inima Ltda. Acesso em 10 de Set de 2022, disponível em <https://bit.ly/3QV9Oc6>
- Camhaji, Elías. (21 de enero de 2018). Zimapán, la ciudad mexicana del agua envenenada. *EL PAIS*. Acesso em 15 de marzo de 2022, disponível em https://elpais.com/internacional/2018/01/26/mexico/1516995951_973825.html
- CCRI, Crypto Carbon Ratings Institute;. (2022). *The Merge - Implications on the Electricity Consumption and Carbon Footprint of the Ethereum Network*. Fonte: The Merge - Implications on the Electricity Consumption and Carbon Footprint of the Ethereum Network: <https://carbon-ratings.com/dl/eth-report-2022>
- CETESB. (Set de 2008). *LEGISLAÇÃO/NORMAS ABNT/CETESB - RESÍDUOS SÓLIDOS*. Acesso em 10 de set de 2022, disponível em CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: <https://bit.ly/3dg6c6R>
- CETESB. (2022). *Gases do Efeito Estufa*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em CETESB: <https://bit.ly/3xs1QQO>
- Cezar, G. (31 de Jul de 2020). *Ceará avança no projeto de usina de dessalinização da água marítima*. Acesso em 10 de Set de 2022, disponível em Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (Aesbe): <https://bit.ly/3QR19IZ>
- DePersio, G. (03 de Nov de 2020). *Socially Responsible Investing - 3 Trends to Watch in ESG Investing*. Acesso em 10 de Set de 2022, disponível em Investopedia: <https://bit.ly/3DDUddM>
- Francesconi, K., & Kuehnelt, D. (01 de Jun de 2004). Determination of arsenic species: A critical review of methods and applications, 2000-2003. *The Analyst*, 129, pp. 373 - 395.
- Gerres, T., Lehne, J., Mete, G., Schenk, S., & Swalec, C. (15 de set de 2022). Green steel production:: how G7 countries can help change the global landscape. (Leadit, Ed.) Fonte: <https://bit.ly/3QO4lna>
- Guerra, R. C., & Angelis, D. D. (Jan - Mar de 2005). CLASSIFICAÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA DESCARTE EM ATERRO

SANITÁRIO. *Arquivos do Instituto Biológico*. doi: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v72p0872005>

- Hoffmann, C., Van Hoey, M., & Zeumer, B. (3 de June de 2020). *McKinsey & Company*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em Decarbonization challenge for steel: <https://mck.co/3QPgqst>
- IBGE. (2022). *Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil 2013 – 2017*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em Biblioteca IBGE: <https://bit.ly/3dgSz7n>
- Joint Research Centre. (15 de June de 2022). *EU climate targets: how to decarbonise the steel industry*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em European Commission EU Science Hub: <https://bit.ly/3Bmastg>
- Kavitha, J., Rajalakshmi, M., Phani, A. R., & Padaki, M. (Dec de 2019). Pretreatment processes for seawater reverse osmosis desalination systems—A review. *Journal of water process- engineering*, 32.
- Lesimple, A., Ahmed, F. E., & Hilal, N. (December de 2022). Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact,. *Desalination*. Acesso em 10 de Set de 2022
- Ministério da Saúde. (04 de maio de 2021). *PORTARIA GM/MS Nº 888*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em Gabinete do Ministro: <https://bit.ly/3xnHIVt>
- Opersan. (5 de Ago de 2022). Greenwashing: entenda o conceito e o impacto de ações falsas nos negócios. São Paulo, Brasil. Acesso em 10 de Set de 2022, disponível em <https://bit.ly/3Ur05Nx>
- Pascual, J. M. (2022). *CURSO TALLER: FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES EN REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SISTEMAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO*. Lima.
- Peplow, M. (13 de June de 2021). *Can industry decarbonize steelmaking?* Acesso em 14 de set de 2022, disponível em Chemical & Engineering News: <https://bit.ly/3QM0OpM>
- Souza, A. G., Barreto, E., Carvalho, E. H., Brandão, J., Cordeiro, J. S., Patrizzi, L. J., . . . Piotto, Z. (1999). *Noções gerais de tratamento e disposição final dos lodos de estações de tratamento de água* (Vol. 1). (PROSAB, Ed.) Rio de Janeiro, Brasil: ABES RJ. Acesso em 09 de maio de 2022, disponível em <https://bit.ly/3kSCoxc>
- WEF Brasil. (s.d.). *A Família das Pegadas*. Acesso em 15 de set de 2022, disponível em WWF: <https://bit.ly/3BIWYcp>