

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

REÚSO DE EFLUENTES NA INTEGRAÇÃO REFINO-PETROQUÍMICA POR MEIO DE FERRAMENTA DA ENGENHARIA DE PROCESSOS

AUTORES:

Reinaldo Coelho Mirre¹, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa², Silvio Alexandre Beisl Vieira de Melo³

INSTITUIÇÃO:

¹ Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia.

² Departamento de Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

³ Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

REÚSO DE EFLUENTES NA INTEGRAÇÃO REFINO-PETROQUÍMICA POR MEIO DE FERRAMENTA DA ENGENHARIA DE PROCESSOS

Abstract

The water efficient and rational use is an important challenge for the achievement of industrial sustainability. The reduction of the water consumption and the wastewater generated allows mitigating the environmental impacts resulting from industrial activities. An important tool of Process Engineering is the Water Sources Diagram (WSD), an algorithmic procedure based on heuristic rules that uses contaminant transfer concepts to establish the best connections between water sources and sinks. This method has been used successfully to solve the problem of water allocation in industrial processes, and allows generating of water network with maximum reuse, including wastewater treatment and recycling in the process. The water networks integration or industrial units can take the obtaining of structures with maximum reuse and less environmental impact, a strategy that meets the objectives of Industrial Ecology. This work aims to use a Chemical Processes Integration technique to provide a methodology that involves the selection of water reuse networks between industrial units. A case study is carried out from data representative of an oil refinery and a petrochemical complex. The results have been generated considering the unidirectional reuse of water processes from refining to petrochemicals, which indicate a reduction of more than 5% in fresh water consumption. Scenarios take into account the possibility and performance of wastewater treatment configurations, together with a distribution center, in order to adjust the concentration for eventual reuse to the respective process units. This strategy intends to subsidize the development of a model of sustainable management of water resources, becoming an alternative instrument in the environmental decision making in the industrial sector.

Introdução

Em um cenário caracterizado pela restrição das reservas de água doce e priorização de seu uso para abastecimento público, o aumento da demanda e do custo da água impõe a necessidade de rever o padrão de consumo industrial, tornando-se uma questão de sobrevivência para as suas próprias atividades. Neste sentido, o gerenciamento adequado do uso da água na indústria é uma prática que requer planejamento das fontes de distribuição para as atividades produtivas. Para resolver o problema de distribuição de água em processos industriais a partir de fontes de abastecimento restritas, diversos métodos sistemáticos têm sido apresentados na literatura (KLEMEŠ, 2012), particularmente da área da Engenharia (Integração) de Processos, representando importante contribuição para a sustentabilidade dos processos industriais (EL-HALWAGI, 2012).

A redução do consumo de água e dos efluentes gerados permite atenuar os impactos ambientais decorrentes de suas atividades. Uma das mais proeminentes ferramentas que atendem a esta finalidade é o Diagrama de Fontes de Água (DFA) (GOMES et al., 2007). O DFA é um procedimento algorítmico que utiliza conceitos de transferência de espécies de contaminantes entre correntes de processo e de água, além de regras heurísticas para orientar o máximo reaproveitamento (reúso e/ou reciclo), conectando fontes e demandas de água. O método tem a vantagem de estabelecer diferentes fluxogramas de processos, os quais podem ser analisados de acordo com as restrições operacionais da planta de processamento, para fins de implantação. Sua aplicação requer dados de caracterização das correntes de água em equipamentos e operações industriais, tais como vazão e concentração de contaminantes considerados relevantes. A evolução do método vem demonstrando sua flexibilidade

para atender à realidade dos processos industriais (CALIXTO et al., 2015; FRANCISCO, 2017) e constitui uma valiosa oportunidade para a prática sistemática do uso racional da água na indústria, sem aplicação imediata de processos regenerativos (tratamento) para adequação ao reúso (regeneração com reúso/reciclo).

Os efluentes gerados devem ser condicionados de forma a enquadrar sua qualidade aos padrões de descarte estabelecidos por organismos de controle. Para atender a essa necessidade, o método Diagrama de Fontes de Efluentes (DFE) (DELGADO et al., 2009; PACHECO, 2014) foi desenvolvido para reduzir a vazão total de efluentes submetidos ao tratamento final, avaliando-se as configurações do tipo centralizado e distribuído. A distribuição do efluente oferece a vantagem de permitir uma menor vazão a ser tratada, influenciando na redução de custos operacionais e de investimento. Mirre et al. (2015) utilizaram o método DFE como parte da avaliação de cenários promissores de reúso em um modelo de gerenciamento de recursos hídricos na indústria, denominado P+ÁGUA (MIRRE et al., 2013), criado como metodologia de tomada de decisão. Assim, este modelo adota critérios que envolvem, em adição ao custo operacional, o realinhamento de correntes, investimento em processos de regeneração, o tratamento final distribuído de efluentes, e o potencial de impacto negativo do descarte de efluentes sobre a qualidade do recurso hídrico (corpo receptor) (AUDEH et al., 2015).

O uso destas ferramentas pode ser estendido para complexos industriais, em que se procura reduzir o consumo global de água pela distribuição integrada entre as plantas, permitindo o uso racional e compartilhado entre diferentes setores. Por meio de fontes centrais de água, podem-se estabelecer esquemas de integração direta e indireta, favorecendo a redução de impactos ambientais e de custos, especialmente aqueles relacionados à tubulação, os quais tendem a ser mais acentuados que em plantas individuais (CHEW et al., 2008). A verticalização de redes vem sendo estudada como forma de estabelecer padrões de uso racional da água entre unidades industriais (RUBIO-CASTRO et al., 2012; BOIX et al., 2015; LIU et al., 2016).

O objetivo deste trabalho é estender a aplicação de metodologia que trata da seleção de redes de reúso de águas, adaptando o método de Integração de Processos para complexos industriais. Realiza-se um estudo de caso a partir de dados representativos de uma refinaria de petróleo e de um complexo petroquímico. Assim, pretende-se flexibilizar o modelo para que seus critérios de seleção sejam direcionados para a obtenção de cenários com integração entre plantas, aprimorando o instrumento alternativo na tomada de decisões ambientais no setor industrial.

Metodologia

A síntese integrada de redes de água e tratamento final de efluentes em complexos industriais pode ser inserida em um modelo de gerenciamento de recursos hídricos P+ÁGUA, conforme a Figura 1. Ressalta-se que a prioridade de ações de reaproveitamento é dada ao reúso interno (ao processo) em relação ao externo (entre plantas), sendo opções que devem vir após atitudes que visem à eliminação ou à redução na fonte, conforme estabelecidos pelos critérios de Produção mais Limpa.

Neste trabalho, realiza-se a integração entre plantas considerando o reaproveitamento unidirecional dos processos hídricos do refino como fontes externas de abastecimento complementar para a petroquímica. Utiliza-se a ferramenta DFA como base para a integração, propondo não somente o atendimento à qualidade do efluente para descarte, mas que viabilize a possibilidade de reúso do refino para as unidades de processos petroquímicos.

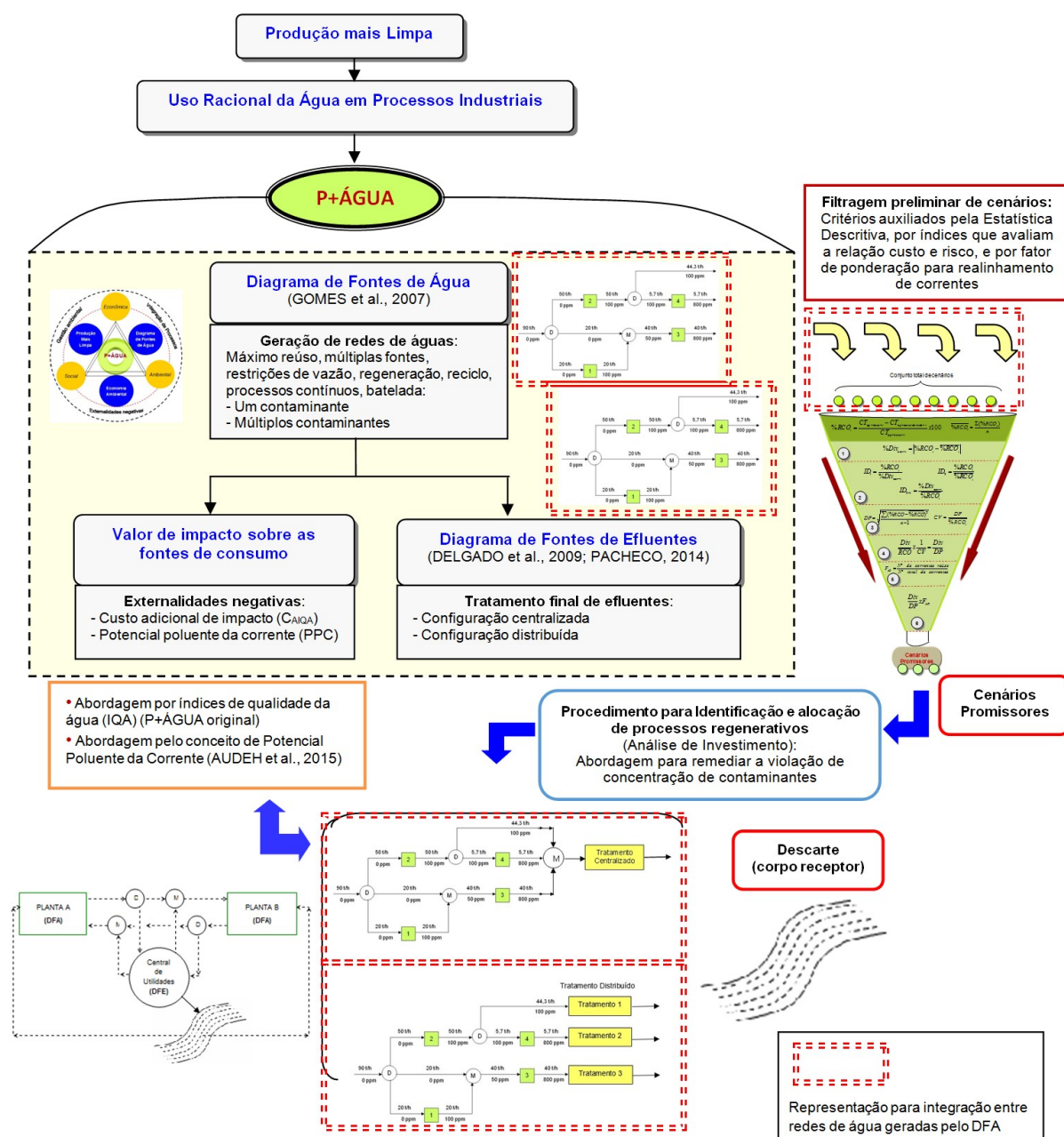


Figura 1 – Estrutura do modelo P+ÁGUA, considerando as vertentes avaliativas para a tomada de decisão, exemplificada para integração entre duas plantas de processos hídricos

Na prática, a dificuldade para se estabelecer o reúso entre plantas está em garantir que os parâmetros de qualidade da água analisados estejam disponíveis para atender às características dos processos hídricos em estudo. Isto significa que os contaminantes identificados como relevantes presentes nas correntes hídricas de um processo industrial devem ser os mesmos analisados para os demais, de modo que a rede possa ser integrada em função de parâmetros comuns.

Resultados e Discussão

No exemplo tratado aqui para a petroquímica (MANN e LIU, 1999), dispõe-se de uma única fonte externa, a 0 ppm. Foram utilizados dados de uma refinaria de petróleo (MOHAMMADNEJAD et al, 2011) e de uma petroquímica (MANN e LIU, 1999), considerando sólidos suspensos como

componente representativo. Este componente afeta os processos industriais principalmente pela ocorrência de depósitos e desgaste de equipamentos em sistemas de resfriamento, de bombeamento, e caldeiras.

A rede de águas da refinaria foi obtida por Mirre et al. (2017), após aplicação do DFA para máximo reúso, na qual os efluentes gerados foram destinados ao reaproveitamento na petroquímica, por meio da inclusão de um processo regenerativo com cerca de 73% de eficiência de remoção do componente sólidos suspensos. O resultado alcançado com a integração indicou a possibilidade de um nível de redução adicional, em relação à análise individual do consumo de água dos processos.

Em relação à rede dos processos petroquímicos, a aplicação do método resulta da proposta alcançada por Scarlati (2013), conforme a Figura 2. O consumo total da fonte externa de água (0 ppm) nesta planta é de 5.430 t/d. No entanto, considera-se o consumo de 3.037 t/d para as seguintes operações: DW – Filtração e secagem dos filtros; CTA – Torre de resfriamento A; CTB – Torre de resfriamento B; SC – Lavagem de Gases; e FW – Lavagem de equipamentos. No caso da petroquímica, o DFA levou à redução de 14% do consumo de água a 0 ppm (SCARLATI, 2013), enquanto que para o processo de refino, houve uma redução de 45% de água a 0 ppm, em relação ao consumo original (MIRRE et al., 2017).

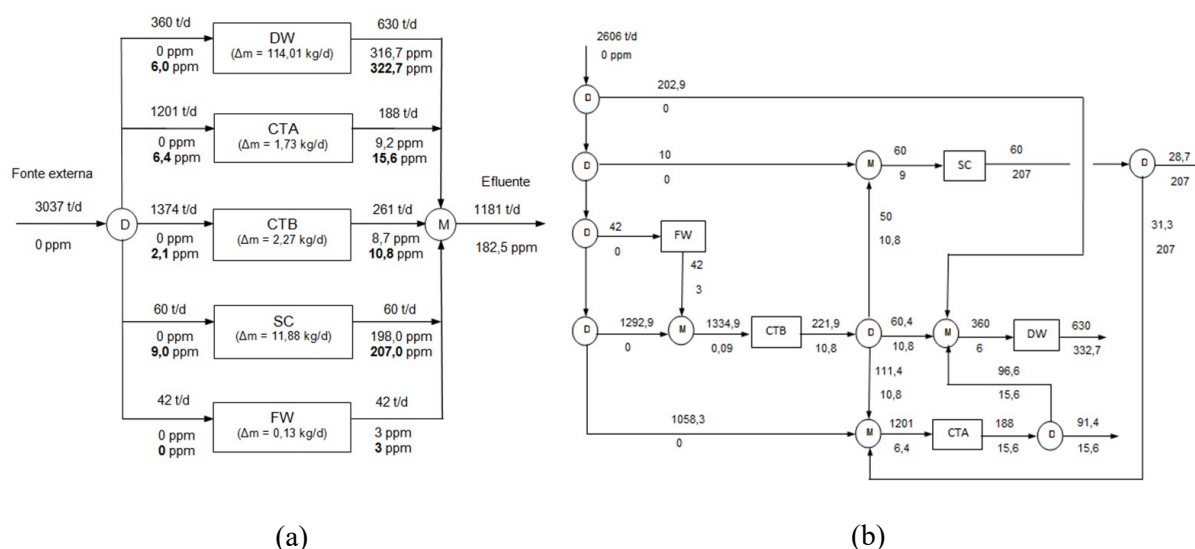


Figura 2 – (a) Rede de águas dos processos petroquímicos (MANN e LIU, 1999, reportado por SCARLATI, 2013). Dados em negrito representam os valores limites de concentração, utilizados na aplicação do DFA para rede de máximo reúso (b), obtida por Scarlati (2013).

Como a refinaria já possui uma unidade de tratamento de efluentes (MOHAMMADNEJAD et al, 2011), verificou-se se o efluente estaria adequado para um eventual reaproveitamento na petroquímica. Da corrente resultante e disponível para a petroquímica, levantou-se a possibilidade de reutilização nas torres de resfriamento desta unidade, dada sua importância como grandes consumidoras de água, conforme mostrado na Figura 2. Duas oportunidades de reaproveitamento foram obtidas: (i) como fonte externa complementar de água de reposição (*make up*) na torre de resfriamento B (CTB), e (ii) como fonte complementar de reposição em ambas as torres (CTA e CTB). A Figura 3 expõe o resultado para ambos os casos, com as redes e seus respectivos balanços hídricos para atendimento aos limites de concentração das operações.

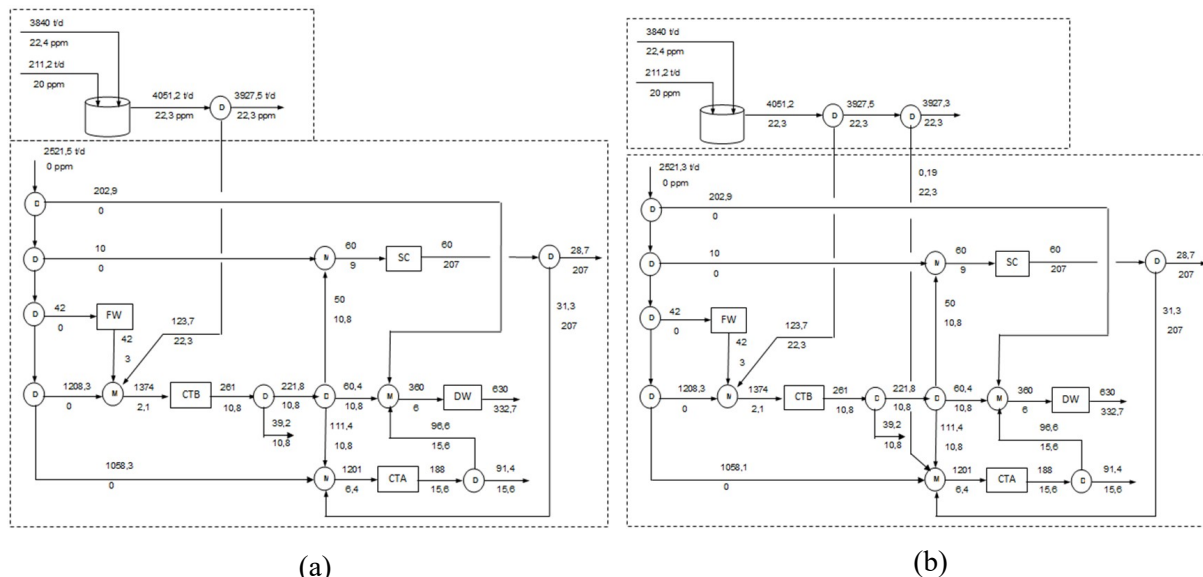


Figura 3 – Integração entre redes, considerando o reuso de efluentes do refino para a torre de resfriamento da petroquímica. (a) para a torre B (CTB); e (b) para ambas as torres (CTA e CTB)

A partir destes resultados, constata-se que a disponibilidade do efluente tratado da refinaria como complemento à reposição da torre de resfriamento CTB proporciona uma redução em torno de 7% do consumo de água a 0 ppm (1292,9 t/d $\Rightarrow$ 1208,3 t/d), somente considerando este tipo de aproveitamento. No entanto, ao se destinar parte desta fonte externa para complementar ambas as torres (CTA e CTB), este percentual não sofre redução atrativa, uma vez que a necessidade de consumo desta qualidade para atender aos limites de concentração do componente sólidos suspensos na reposição da CTA é menor (0,19 t/d), se comparados à vazão de entrada e ao seu potencial de redução. Neste caso, verifica-se que o reúso para atender a CTA não se torna atrativo, em função dos eventuais custos com redirecionamento de correntes. De qualquer forma, é recomendável explorar o potencial desta fonte externa para reaproveitamento em outras operações, ampliando a possibilidade de redução do consumo de água limpa nesta unidade.

Os efluentes gerados em ambas as plantas são então analisados para o tratamento que atendam às condições de qualidade para o descarte no corpo receptor. Neste caso, como as características dos efluentes das redes considerando o reúso nas torres são semelhantes, vislumbra-se a possibilidade de se reaproveitá-lo para atender à necessidade da água de reposição da torre de resfriamento da unidade de refino. Esta operação requer que a concentração de entrada para sólidos suspensos seja de 1 ppm (MIRRE et al., 2017). Diante disso, propôs-se uma sequência de tratamento observando aspectos de eficiência e custos médios atribuídos a estes processos, para o alcance de um efluente com esta qualidade. A partir das informações disponíveis em Delgado (2008), utilizou-se como critério de seleção preliminar os custos relativos às técnicas de filtração e tratamento biológico, cujas eficiências de remoção permitiram obter a concentração desejada (≤ 1 ppm). A Figura 4 ilustra uma das rotas de tratamento necessária para esta finalidade, onde uma fração deste efluente regenerado pode ser alocada para atender à torre de água de resfriamento da refinaria, em uma forma de reaproveitamento reversível desta metodologia.

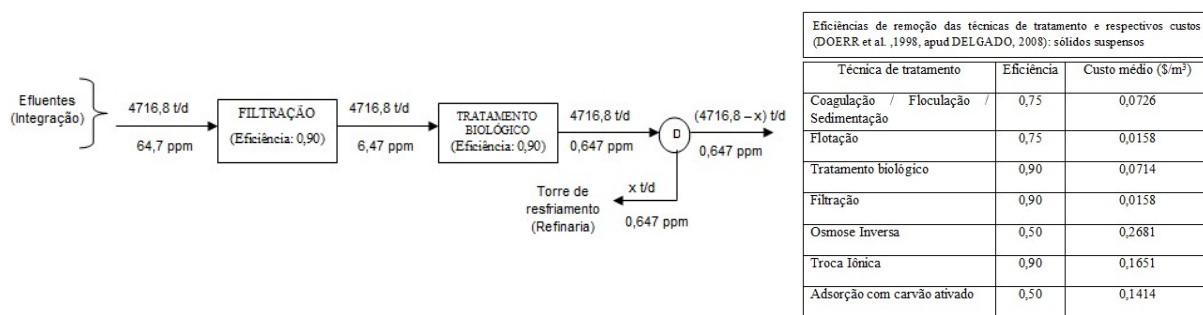


Figura 4 – Esquema de tratamento de efluentes integrados visando ao reaproveitamento reversível para a unidade de refino

A estratégia de integração de redes de águas e efluentes tem a vantagem de permitir um maior aproveitamento de recursos cuja qualidade desfavorece o retorno ao processo. Quando se estabelece previamente a recuperação da qualidade e a redução de perdas dentro do processo, para depois proceder à integração entre plantas, observa-se a possibilidade de se potencializar a minimização do consumo e da geração de efluentes. Em função da complexidade do problema, a identificação de oportunidades de melhorias e de reutilização destes recursos deve estar focada no máximo reúso dentro do processo, e no melhor desempenho das configurações de tratamento de efluentes entre as plantas, comparando as alternativas do tipo centralizada e distribuída. Tal estratégia pode ser alcançada por meio de ferramentas apropriadas da Integração de Processos.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo fornecer instrumentos para análise de uma metodologia de seleção de cenários de reaproveitamento de águas e efluentes por meio da integração entre plantas de processamento. A abordagem adotada no estudo de caso permitiu visualizar opções para esta direção, destacando a importância do uso de ferramentas sistemáticas, principalmente para aplicação em setores industriais de grande consumo de água. Sob esse aspecto, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de um modelo de gestão sustentável de recursos hídricos, no sentido de viabilizar a obtenção de metas ambientais e de favorecer a tomada de decisão no ambiente industrial.

Agradecimentos

À Capes, pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

AUDEH, D.J.S.A.; SANTOS, M.S.; MIRRE, R.C.; PESSOA, F.L.P. Proposta de valoração de impacto do reúso de efluentes industriais a partir da integração de processos químicos, In: **8º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Curitiba, PR, 2015.

BOIX, M.; MONTASTRUC, L.; AZZARO-PANTEL, C.; DOMENECH, S. Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, 87, 303-317, 2015.

CALIXTO, E. E. S.; QUARESMA, A. C. L.; QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Water sources diagram in multiple contaminant industrial case studies: adoption of a decomposition approach. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 54, 10040-10053, 2015.

CHEW, I.M.L.; TAN, R.R.; NG, D.K.S.; FOO, D.C.Y.; MAJOZI, T.; GOUWS, J. Synthesis of direct and indirect interplant water network. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 47, 23, 9485-9496, 2008.

DELGADO, B.E.P.C. **Síntese de sistemas de regeneração e tratamento final de efluentes**. Tese (D.Sc. em TPQB), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

DELGADO, B.E.P.C.; QUEIROZ, E.M.; PESSOA, F.L.P. Distributed wastewater treatment synthesis using the aqueous effluent diagram. In: **10th International Symposium on Process Systems Engineering**, Salvador, BA, 1-7, 2009.

EL-HALWAGI, M.M. **Sustainable design through process integration: fundamentals and applications to industrial pollution prevention, resource conservation and profitability enhancement**, Amsterdam, The Netherlands: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2012.

FRANCISCO, F.S. **Aperfeiçoamento e extensão do diagrama de fontes visando a sustentabilidade**. Tese (D.Sc. em TPQB), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

GOMES, J.F.S.; QUEIROZ, E.M.; PESSOA, F.L.P. Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant. **Journal of Cleaner Production**, 15, 5, 474-485, 2007.

KLEMĚŠ, J.J. Industrial water recycle/reuse. **Current Opinion in Chemical Engineering**, 1, 3, 238-245, 2012.

LIU, L.; WANG, J.; SONG, H.; DU, J.; YANG, F. Synthesis of water networks for industrial parks considering inter-plant allocation. **Computers and Chemical Engineering**, 91, 4, 307-317, 2016.

MANN, J.G.; LIU, Y.A. **Industrial water reuse and wastewater minimization**. New York: McGraw-Hill, 1999, 450 p.

MIRRE, R.C.; PESSOA, F.L.P.; MELO, S.A.B.V. Reúso de águas e efluentes entre plantas industriais. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, SC, 1-8, 2017.

MIRRE, R. C., SANTOS, M. S., AUDEH, D. J. S. A., COSTA, A. L. H., PESSOA, F. L. P. Síntese de Sistemas de Tratamento Final de Efluentes Industriais na Seleção de Cenários de Reúso de Água, In: **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, DF, 1-8, 2015.

MIRRE, R.C.; YOKOYAMA, L.; PESSOA, F.L.P. P+ÁGUA: um modelo para seleção de oportunidades sustentáveis de reúso de efluentes industriais a partir da Integração de Processos. In: **4th International Workshop Advances in Cleaner Production**, São Paulo, SP, 2013.

MOHAMMADNEJAD, S.; NABI BIDHENDI, G.R.; MEHRDADI, N. Water pinch analysis in oil refinery using regeneration reuse and recycling consideration. **Desalination**, 265, 255-265, 2011.

PACHECO, L.C. **Síntese da Rede de Água e do Sistema de Tratamento Distribuído de Efluentes em Refinarias**. Dissertação (M.Sc. em TPQB), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

RUBIO-CASTRO, E.; PONCE-ORTEGA, J.M.; SERNA-GGONZÁLEZ, M.; EL-HALWAGI, M.M. Optimal reconfiguration of multi-plant water networks into an eco-industrial park. **Computers and Chemical Engineering**, 44, 58-83, 2012.

SCARLATI, P.R.S. **Redução do consumo de água na indústria petroquímica**. Dissertação (M.Sc. em TPQB), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2013.