

Estratégias para conservação de água potável e descarte zero de efluentes líquidos em corpos receptores

Profa.Dra. Rosane Hein de Campos.
Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
Orientadora – PPGES/UFES

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
franci@npd.ufes.br
Co-orientador – PPGES/UFES

ABSTRACT

This paper aims to propose actions and strategies aimed at prioritizing the conservation of drinking water within the Tubarao Industrial Complex, considering the use of non-potable alternative sources, thus reducing the discharge of liquid effluent to the receiving body. To perform its operational activities, the Tubarao Complex demands an average flow of 13,248,612 m³ / year, of which 82% of this amount (10,863,861m³ / year) is consumed by the Pellet Management Board (DIPE). From this amount, around 62% (8,207,278 m³ / year) of water is reused in the production of pellets. However, in the event of intense rainfall in this region, the wastewater reservoirs increase in volume beyond their capacity, which produces, at an average flow of 116.316 m³ / year, eventual discards of industrial liquid effluents into the sea. As a strategy to conserve drinking water, take advantage of rain as an alternative source and to avoid the disposal of industrial liquid effluent, a reservoir with a capacity of 85,000 m³ is being designed. This reservoir will reduce drinking water consumption by 2,5% and increase reuse to 65%. Therefore, this study indicates that the use of rainwater is an alternative to preserve the drinking source, and the reservoir construction will bring environmental gains with reduction of the emission of industrial liquid effluents in receiving bodies.

Keywords: Reuse; Hydric balance; Rain water.

1. Introdução

Considerando que o setor de mineração vem tendo crescimentos acentuados nas últimas décadas, e sendo este um importante usuário de água, é imprescindível para garantir um desenvolvimento sustentável, adotar práticas conservacionistas com uso racional e reuso da água, associado a uma gestão focada em termos de quantidade e qualidade deste recurso natural.

Observa-se que estratégias de conservação contribuem para reduzir a demanda por água em seus processos e utilizam fontes alternativas de tal modo que minimizam o impacto ambiental, o estresse hídrico e a pressão sobre os recursos naturais, também deve ser considerada a avaliação do potencial de abastecimento alternativo, ou seja, as práticas de conservação, uso racional e reuso além do bem para o meio ambiente, também trazem um aspecto positivo para indústria (KUMAR, 2014, NAIR et.

al. 2014). Portanto, a recuperação e reuso de águas residuais é uma das soluções recomendadas para o problema da escassez (LOREDANA PINTILIE et al. 2016).

Com o objetivo de minimizar o impacto da indústria no estresse hídrico, os autores Singh, Khedun e Mishra (2014) afirmam que para um futuro sustentável a gestão da água exigirá alterações na vida das pessoas, bem como, nos processos industriais. Há uma necessidade eminente de se ter práticas de reutilização de água nas atividades industriais e humanas (NICOLETTE; BURR; ROCKEL, 2013).

Diferentes estudos estão sendo realizados na área industrial, Cunha (2008), por exemplo, em uma unidade industrial de uma planta petroquímica – Deten Química S.A., demonstrou ser possível implementar um programa para redução de efluente líquido industrial na fonte. O PEZ – Programa Efluente Zero, elaborado pelo Cunha (2008), baseia-se em três pilares: Educação Ambiental, Sistema de Informação e Incentivos as Ideias Inovadoras. Após três anos de implementação do PEZ a redução de efluente pela empresa foi de 48%.

Já Weber, C. C. (2010), implementou estratégias para conservação de água em uma indústria de embalagem de papelão ondulado (PO). Os resultados mostraram que o uso racional e reuso da água foi a melhor ferramenta conservacionista utilizada, e concluiu que o consumo médio de água foi reduzido em 45% e o consumo específico caiu de 213,11 para 89,21 mL/m² de PO. Este estudo ainda constatou que a unidade industrial reduziu a emissão de poluentes ao meio ambiente e passaram a cumprir a Legislação Ambiental.

Demonstrando preocupação com os aspectos ambientais e de sustentabilidade dos seus negócios perante a comunidade em que está inserido, o Complexo de Tubarão vem realizando significativos investimentos em tecnologia para reaproveitamento e reuso de águas residuais. Como demonstra os resultados aferidos no período de 1996 a 2017 com 43% de redução no consumo médio mensal de água. Analisando o período de 1990 até 2017 a redução foi ainda mais expressiva com 72%, associada ao aumento da produção de 94% no mesmo período. Entretanto, mesmo com esses resultados, eventualmente, por conta de chuvas intensas em alguns períodos, há ocorrência de descarte de efluente líquido para o oceano.

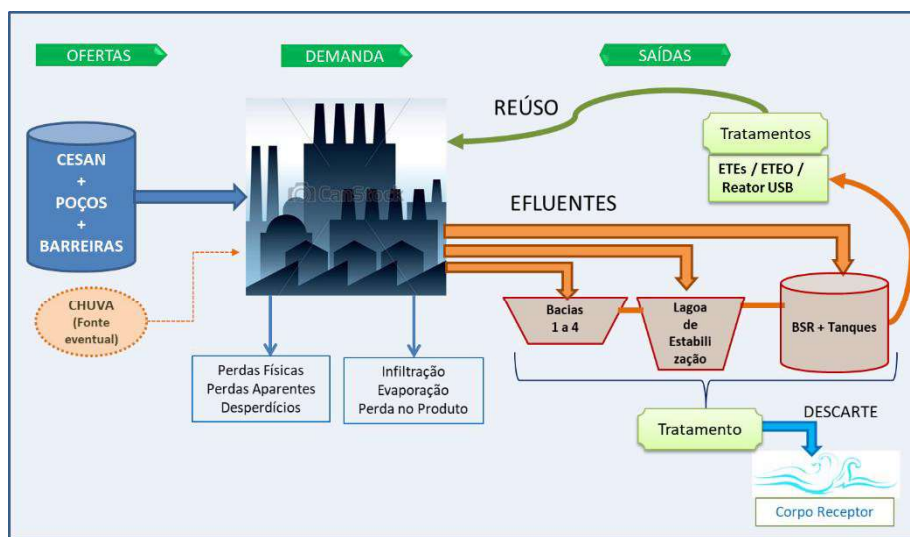
Este artigo tem por objetivo, apresentar estratégias para o aproveitamento de fontes alternativas de águas não potáveis visando zerar a emissão de efluentes líquidos industriais em corpos receptores.

2. Material e Métodos

A Unidade Industrial de Tubarão está localizada na região Norte do município de Vitória – ES, onde estão instaladas oito usinas que produzem pelotas, além de um terminal portuário para embarque de pelotas e minério de ferro. Suas instalações estão divididas nas Diretorias de Pelotização (DIPE), Ferrovia, Infraestrutura e na Diretoria do Porto. Para suprir suas necessidades operacionais, esta Unidade Industrial dispõe de duas fontes de água: uma fonte de água potável e outra não potável. A fonte de águas potável é denominada de “Água Nova”, com águas provenientes da concessionária de água CESAN – Companhia de Saneamento Básico do Espírito Santo, dos poços profundos e das barreiras hidráulicas existentes dentro de Tubarão. Antes do seu uso essas águas passam por tratamento na ETA instalada dentro de Tubarão que irá lhes conferir a qualidade para utilização humana conforme a Norma de potabilidade. A segunda fonte de água é proveniente da corrente não potável, este sistema é formada pelo “Anel de Água Recirculada” que capta água de quatro reservatórios de água residuais de Tubarão chamados de Bacias de

Decantação 1, 2, 3 e 4. Na **Figura 1** é representado de forma simplificada o fluxo das correntes líquidas dentro da Unidade de Tubarão.

Figura 1 – Fluxo simplificado de água do Complexo Industrial de Tubarão



Embora o Complexo de Tubarão reutiliza 62% de toda água que circula no Complexo, um dos problemas recorrentes desta unidade ocorre quando há chuvas intensas na região, pois os reservatórios de águas residuais existentes não tem a capacidade de absorver essa grande contribuição, ocorrendo os eventuais descartes de efluentes líquidos industriais para o mar. Uma das formas de solucionar este problema seria criar um reservatório que teria a capacidade volumétrica que não permitiria que esta água fosse descartada.

Para entender o mecanismo de consumo, da oferta e do reuso da água que ocorre dentro da Unidade de Tubarão, dividiu-se este estudo em duas etapas. Na primeira caracterizou-se a oferta e a demanda de água do Complexo de Tubarão, considerando todas as correntes líquidas de água de entrada provenientes da Concessionária CIESAN, poços, barreiras hidráulicas e do sistema de reuso de água residual. Na segunda etapa foi elaborado o Balanço Hídrico (BH) do Complexo. A conclusão dessas duas etapas permitiu-se conhecer a vazão média das ofertas e das demandas dos pontos consumidores, bem como, a vazão média de descarte dos efluentes líquidos industriais para o oceano. Com isso, foi possível estabelecer estratégias e alternativas para o uso da água de chuva como fonte não potável de água nos processos produtivos, preservando as fontes de água potável da região, e ainda, aumentar o potencial de reuso do Complexo.

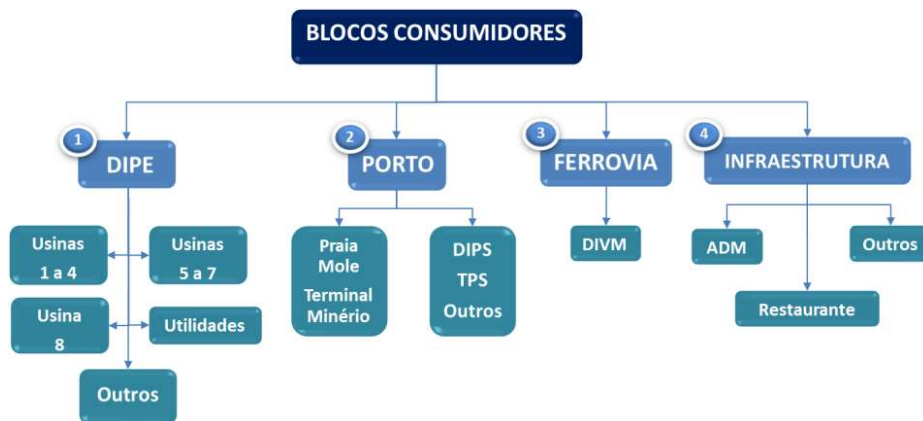
2.1. Etapa1: Levantamento de dados:

A Etapa 1 envolveu a coleta de dados e análise da série histórica do consumo de água do Complexo de Tubarão e a setorização dos consumidores de água. Os blocos consumidores estão apresentados na **Figura 2**, e foram nomeados em:

1. Bloco da Diretoria de Pelotização – DIPE formado pelas usinas de Pelotização de 1 a 8, Utilidades e outros;
2. Bloco do Porto contempla o Porto de Praia Mole, Terminal de Minério, DIPS, TPS e outros;

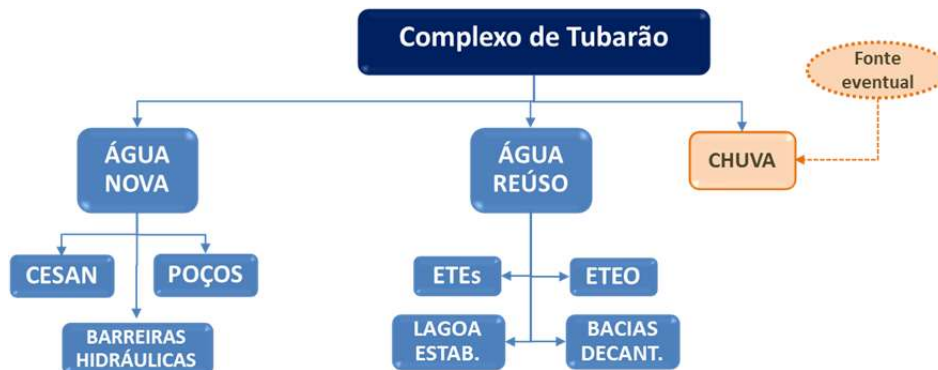
3. Bloco da Ferrovia – formado pela Diretoria da Ferrovia;
4. Bloco da Infraestrutura, formado por consumidores da área Administrativa do complexo de Tubarão e Restaurantes.

Figura 2 – Blocos Consumidores do complexo de Tubarão



As três fontes que fornecem água para o Complexo de Tubarão estão representadas na **Figura 3** e foram classificadas em:

Figura 3 – Fontes de oferta de água



“Água Nova”: A água proveniente da Concessionária CESAN (Companhia Espírito Santense de Saneamento) é misturada às águas dos Poços e das Barreiras Hidráulicas que são destinadas ao sistema de tratamento da ETA. Após o tratamento essa água é direcionada aos pontos de consumo e em cada um deles há instalados hidrômetros que mensalmente são realizados a leitura do consumo.

“Água de Reuso”: Efluentes provenientes do processo produtivo industrial que são direcionados para os sete sistemas de tratamentos: ETE – Estação de Tratamento de Efluentes (ETE Sul, ETE Norte, ETE do Pier, Reator UASB, Lagoa de Estabilização e Bacias de Decantação) e a ETEO – Estação de Tratamento de Efluentes Oleosos. Após tratamento este efluente é distribuído para todo o Complexo através do “Anel de Água Recirculada”. O cálculo do volume de água para reuso ofertado é determinado através das leituras dos 25 hidrômetros instalados em cada ponto de consumo deste circuito fechado.

“Água de Chuva”: Águas provenientes das precipitações pluviométricas que ocorrem na região dentro do Complexo de Tubarão. Esta água é coletada pelo sistema de drenagem que se liga ao sistema de reservação das Bacias 1 a 4.

Para facilitar os cálculos do volume da água de chuva, o Complexo de Tubarão foi dividido em 15 áreas equivalentes (bacias) e para cada uma delas foram definidos os seus respectivos coeficientes de escoamento. Esse cálculo teve como base a média da série histórica da precipitação dos últimos 15 anos (2002 a 2017), dados registrados pela estação meteorológica instalada em Vitória (02040035) pertencente à rede do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. O volume de água pluvial no tempo t e o volume de água pluvial no reservatório no tempo t foicalculado através das **Equações 1e** aplica-se a cada mês do ano em estudo, NBR 15527 (ABNT, 2007).

$$Voferta = C \times Pt \times Aeq \quad (1)$$

Em que:

Voferta = Vazão mensal da água de chuva (m^3); C = Coeficiente de escoamento superficial (adotado 0,76); Aeq = Área Equivalente em projeção do terreno (m^2); Pt = Precipitação média mensal dos últimos 15 anos no tempo t (mm/mês).

2.2. Etapa2: Elaborar o Balanço Hídrico – BH do Complexo de Tubarão

Para realizar o BH do Complexo de Tubarão foram verificadas as condições de operação das instalações durante o período mais seco do ano, quando o consumo de água é maior e a contribuição da precipitação pluvial é desprezível, bem como para o período de chuvas intensas, onde a demanda de água reduz drasticamente e a contribuição das chuvas se torna abundante. Estes eventos provocam um forte impacto no equilíbrio entre a oferta e a demanda, ou seja, a demanda por água aumentadurante o período de seca, e inverte no período chuvoso, onde a demanda por água reduz drasticamente, com isso os reservatórios não suportam o volume de água provocando eventuais lançamentos de efluentes industriais no mar. Esses descartes são sempre realizados após tratamento, que consiste na retenção dos sólidos e na redução do pH.

Verificou-se a necessidade de calcular um novo reservatório para reduzir o descarte deste efluente líquido que extravasa dos reservatórios (Bacias 1 a 4), evitando o transbordo e descartes para o oceano. Desta forma, os cálculos foram baseados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e o método escolhido foi o “Método da Simulação”, que leva em consideração a contribuição da água de chuva, a demanda de água e o volume inicial do reservatório (V), o volume inicial será para atender no primeiro mês (janeiro) e à condição $V \geq S(t) \geq 0$. Se essa condição for atendida ao longo dos demais 11 meses restantes do ano, esse volume (V) é o volume do reservatório. Caso contrário, deve-se determinar um valor do reservatório (V) que atenda à condição estabelecida.

A **Equação 2** considera um volume inicial de água no reservatório no tempo $t-1$ (S_{t-1}), a demanda no tempo t (D_t) e a média mensal da oferta de água produzida pelas chuvas (V_{oferta}).

$$S_t = V_{oferta} + S_{t-1} - D_t \quad (2)$$

Em que:

S_t = Volume de água pluvial no reservatório no tempo t (m^3); S_{t-1} = Volume de água pluvial no reservatório no tempo $t-1$ (m^3); e D_t = Consumo/demanda de água pluvial no tempo t (m^3).

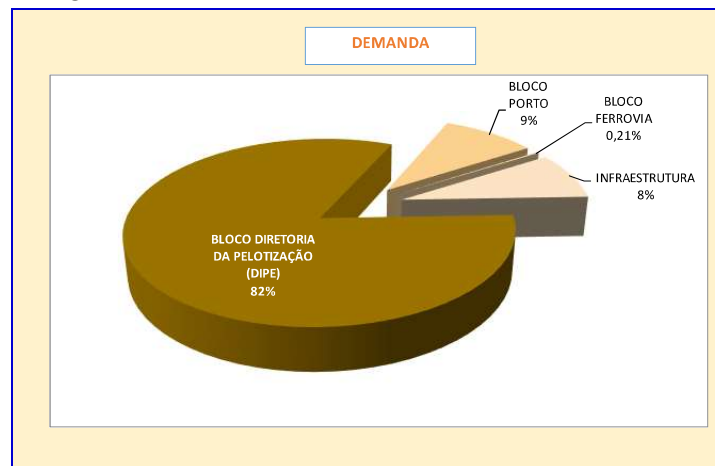
Os resultados apurados nas duas etapas permitiu conhecer, através do BH, a vazão média do descarte provocado pelas chuvas e estabelecer um plano para armazenar o excedente de água potencializando o reuso de águas residuais nos processos de produção de pelotas reduzindo a emissão de efluente líquido industrial em corpo receptor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise dos consumidores:

Os resultados apurados para cada um dos blocos consumidores do Complexo estão apresentados na **Figura 4**. Verifica-se que o maior consumidor é a Diretoria de Pelotização – DIPE com 82%, seguido pelo bloco do Porto com 9%, bloco da Infraestrutura com 8% e pelo bloco da Ferrovia com apenas 0,21% de toda água requerida pelo Complexo.

Figura 4 – Demanda de água dos Blocos Consumidores



Notadamente o bloco DIPE é o maior consumidor de água, portanto as ações de redução no consumo devem ser direcionadas para este bloco consumidor.

As **Figura 5 e 6** apresentam a oferta de água para os blocos consumidores e a divisão da oferta dentro de cada bloco respectivamente.

Figura 5 – Oferta de água para os Blocos Consumidores

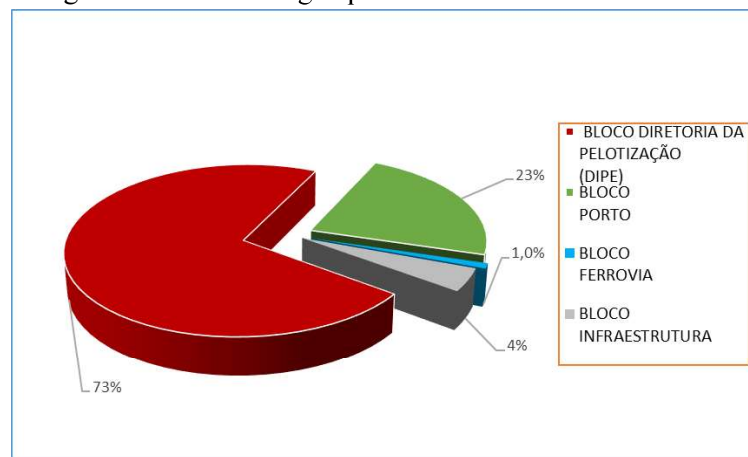
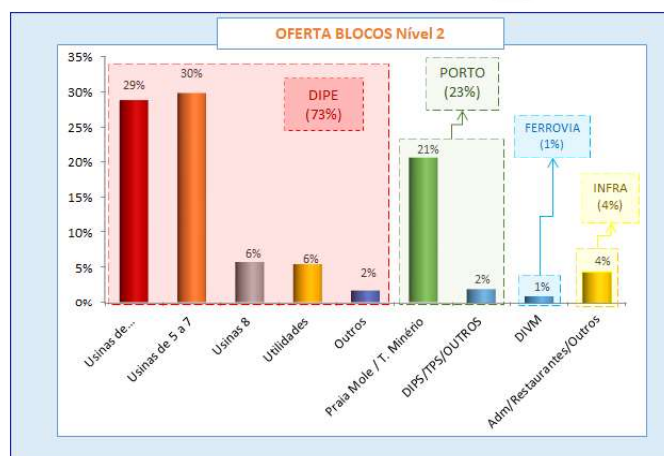


Figura 6 – Divisão da oferta de água dentro dos Blocos Consumidores



Analisando o bloco DIPE (Figuras 4 e 5) verificou-se que a diferença entre a oferta de água (73%) e a demanda (82%) é de 9%. Essa diferença corresponde a quase todo o volume de água perdida ou desperdiçada (8%) dentro do Complexo de Tubarão. Já o bloco do Porto, além de considerar as mesmas condições de perdas da DIPE a diferença entre a oferta (23%) e a demanda (9%) de 14% deve-se às características operacionais e pelo fato do sistema de reuso do bloco do Porto ter menor capacidade, culminando em maior necessidade de água. Os demais blocos Ferrovia (1%) e Infraestrutura (4%) tem um percentual de oferta de água bem pequeno se comparados aos demais blocos.

3.2. Balanço Hídrico do Complexo de Tubarão:

A **Tabela 1** representa a estratificação dos valores de todo o consumo de água que ocorreu no Complexo de Tubarão no período de janeiro a dezembro de 2017.

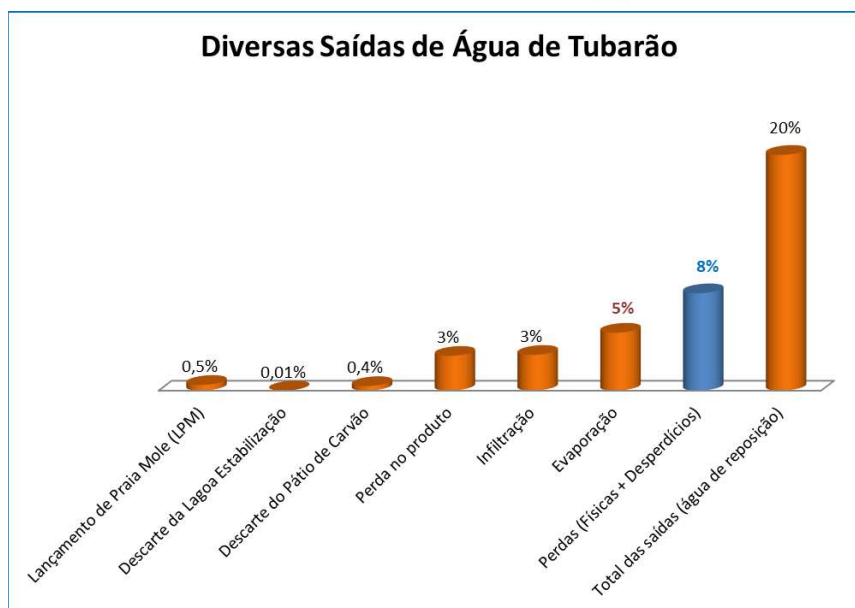
Tabela 1 – Comparação entre Água Nova e de Reuso

Demanda de água em Tubarão	Vazão Média (m/ano)	%	Período
Reuso Total de Água	8.128.320	62%	Jan a dez/2017
Consumo Água Nova	5.008.456	38%	Jan a dez/2017
Consumo Total (Água Nova + Água Reúso)	13.136.776,05	100%	Jan a dez/2017

Considerando as três fontes de água potável que abastecem o Complexo de Tubarão (CESAN, Poços profundos e Barreiras Hidráulicas), a vazão média de água consumida em 2017 foi de 13.248.612 m³, sendo que 8.207.278 (62%) é água de reuso e 5.041.334 (38%) é água potável.

A **Figura 7** relaciona percentualmente todas as saídas de água que ocorreram em Tubarão durante o ano de 2017.

Figura 7 – Representação gráfica das diversas saídas do complexo de Tubarão



Pela **Figura 7** verifica-se que 20% de toda água que circula no Complexo de Tubarão, em torno de 2,5 milhões m³/ano, é perdida por infiltrações no solo (3%), evaporação (5%), umidade do produto (minério de ferro e pelotas: 3%), perdas físicas (8%). Os descartes de efluentes líquidos para o oceano ocorrem nos pontos de Lançamento de Praia Mole (0,5%), Lagoa de Estabilização (0,01%) e o descarte do Pátio de Carvão (0,4%), totalizando em descartes de 0,91%. O descarte ocorre durante os períodos de chuva, pois os reservatórios (Bacias de 1 a 4) do Complexo não possuem capacidade de armazenamento do volume precipitado, o que enseja a construção de um novo reservatório com capacidade de reter todo o descarte de efluente líquido para o oceano.

Analisando os parâmetros estatísticos apresentados no **Quadro 1** identifica-se por meio dos máximos e mínimos da série histórica valores atípicos (possível outlier). Valores atípicos causam assimetria dos dados resultando em grande dispersão dos dados (51,20). Eventos extremos de baixa precipitação (seca) e muita precipitação (chuvas intensas) causam forte impacto no balanço hídrico da Unidade de Tubarão. Esses eventos extremos como a seca potencializa o estresse hídrico forçando o poder público priorizar o fornecimento de água à população. Para mitigar essa situação a indústria deve criar alternativas para armazenar água de tal modo que não haja impacto nos seus processos produtivos que requerem utilização de água. Por outro lado, o excesso de chuvas aumentam os volumes dos reservatórios acima de sua capacidade, causando o descarte do excesso do efluente líquido aos corpos receptores.

Quadro 1 – Dados estatísticos das precipitações médias mensais dos últimos 15 anos

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS					
NUM. EVENTOS	MEDIANA	MÉDIA	MAXIMO	MÍNIMO	DESVIO PADRÃO
12	100,25	109,46	205,01	50,83	51,20

No sentido se prepara para estes eventos extremos, ou seja, reservar água na época de chuvas intensas sem descartá-las para serem utilizadas nas épocas de seca, faz-se necessário dimensionar um reservatório com capacidade de reserva que atenda a estes critérios. O dimensionando do

reservatório deverá ser elaborado criteriosamente de forma que garanta que o sistema tenha viabilidade técnica e econômica, pois um dos itens mais caro no aproveitamento de águas pluviais é a construção do reservatório. A viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água da chuva está relacionada ao seu destino de utilização final, ou seja, para reuso, o qual o destino não demanda água potável e os custos para o seu tratamento são bastante reduzidos (GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015).

Dessa forma, com a aplicação da **Equação 2** permitiu-se calcular o volume da água de chuva considerando a média mensal da série histórica de chuvas dos últimos 15 anos, para uma área de contribuição de 461 hectares e vazão média de demanda de 367.296 m³/ano. Após simulações utilizando o “Método da Simulação”, determinou-se a relação da vazão média de oferta da água de chuva e a vazão média da demanda requerida, chegando a um volume do reservatório de 85.000 m³.

Este reservatório terá a capacidade de manter o volume de água no período de escassez de chuva, sem necessidade de reposição de estoque e também terá capacidade de reservar o excesso de água em períodos de chuvas intensas. Com isso, o Complexo de Tubarão não terá descarte de efluente líquido para o oceano. Ainda assim, deve-se considerar que a água estocada também servirá como fonte de reposição (*makeup*) ao sistema de reuso, ou seja, a construção de um novo reservatório terá papel fundamental na estratégia de conservação da fonte de água potável e no descarte zero de efluentes líquidos industriais lançados em corpos receptores.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a ocorrência de chuvas, numa vazão média de 452.287 m³/ano, provoca grande desequilíbrio no Balanço Hídrico do Complexo de Tubarão. Nos períodos chuvosos a demanda por água recirculada diminuir drasticamente, pois nestes períodos, algumas operações que demandam água acabam por não consumi-las, esta situação provoca um excesso de água e os atuais reservatórios não possuem capacidade de armazenamento, provocando o descarte de efluente líquido industrial numa vazão média de 116 mil m³/ano. Os resultados deste estudo denotam que a instalação de um reservatório de 85.000m³ dentro do Complexo de Tubarão será capaz de zerar o descarte de efluente líquido industrial para o oceano. Outros ganhos associados a esta construção é a redução do consumo de água potável em 2,5%, equivalendo-se o Complexo de Tubarão aos resultados alcançados por outras unidades industriais, que após adotarem medidas reduziram o consumo em média 45%. Também deve-se considerar o ganho com o aumento do percentual de reuso de água residuais no Complexo.

Portanto, conclui-se que, embora o percentual de descarte seja pequeno (0,91%) em relação a toda água utilizada no Complexo, este estudo denota que a construção de um novo reservatório trará ganhos ambientais zerando a emissão de efluentes líquidos industriais para o oceano. Também demonstrou-se que o aproveitamento da água de chuva é uma alternativa para preservar a fonte potável. Por fim, acredita-se que essas estratégias são ambientalmente responsáveis, economicamente viáveis e tecnicamente aceitáveis.

Portanto, conclui-se que este estudo denota que o aproveitamento da água de chuva é uma alternativa para preservar a fonte potável e o reservatório trará ganhos ambientais com redução da emissão de efluentes líquidos industriais em corpos receptores.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis** - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

CROWE, C. M., 1986. **Reconciliation of process flow rates by matrix projection**. *AIChE Journal*. v. 32, n. 4, 1986, p.616-623.

FIESP/CIESP – **Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial**. São Paulo, 2004.

GOIS, E. H. B. de.; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. **Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil**. *Journal of Cleaner Production*, p. 263-271, 2015.

GUZZO, F. R. **Estratégias para conservação de água potável através do aproveitamento de fontes não potáveis em uma edificação comercial de grande porte**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

KUMAR, P.; SAROJ, D. P. **Water-energy-pollution nexus for growing cities**. *Urban Climate*, p. 846-853, 2014.

MARTINS, M.A.F., AMARO, C., SOUZA, L., KALID, R., KIPERSTOK. A. **New objective function for data reconciliation in water balance from industrial process**. *Journal of Cleaner Production*. v. 18, p. 1184-1189, 2010.

NICOLETTE, J.; BURR, S.; ROCKEL, M. **A Practical Approach for Demonstrating Environmental Sustainability and Stewardship through a Net Ecosystem Service Analysis**. *Sustainability*, p. 2152-2177, 2013.

SINGH, V. P.; KHEDUN, C. P.; MISHRA, A. K. **Water, Environment, Energy, and Population Growth: Implications for Water Sustainability under Climate Change**. *Journal of Hydrologic Engineering*, p. 667-673, 2014.

RIKKI, A. GARSTONE, GILL, C.; MOLIERE, D.; YANG D.; BENDE-MICHL, U; FIDDES, P. **Water accounting is the application of a consistent and approach to identifying, measuring, reporting information about water**. Published by Elsevier B. V., 2017