

Reúso de água em indústria de fabricação de estruturas em concreto: uma estratégia de gestão ambiental

RESUMO

Diante das frequentes crises hídricas registradas no Brasil, o reúso industrial de água e de efluente tratado é um importante instrumento na gestão dos recursos hídricos, sobretudo nas grandes cidades. O objetivo do trabalho foi analisar a oportunidade de redução do consumo de água potável em indústria de fabricação de estruturas em concreto, considerando requisitos quantitativos, qualitativos e econômico-financeiros. A metodologia utilizada baseou-se em: coletas de campo para determinar a oferta e a demanda de água de reúso no empreendimento estudado; levantamento da qualidade da água de reúso requerida; proposta de tratamento e avaliação do investimento necessário. Os resultados mostraram um potencial de redução de 61% da demanda mensal de água potável do empreendimento analisado, com um baixo investimento (cerca de R\$ 3.000,00). Concluiu-se que o reúso de água pode ser considerado uma alternativa estratégica para a empresa, sobretudo em um cenário de cobrança pelo uso da água e de restrição em caso de escassez.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente industrial. Reúso de efluente. Cobrança pela água. Sustentabilidade empresarial.

Rafael Jaros Odppes

rafaelodppes@uol.com.br

Universidade Positivo - Curitiba, Paraná, Brasil.

Diego Teixeira Michalovicz

diegomichalovicz@hotmail.com

Universidade Positivo - Curitiba, Paraná, Brasil.

Patrícia Bilotta

pb.bilotta@gmail.com

Universidade Positivo - Curitiba, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda de água por atividades humanas, industriais e agrícolas, aliado ao aumento da contaminação dos recursos hídricos, pelo descarte de efluentes potencialmente poluidores, e o impacto das mudanças do clima sobre a disponibilidade de água, são aspectos apontados como as principais causas da escassez hídrica enfrentada no Brasil (Mancuso & Santos, 2003; Hespanhol, 2008; PBMC, 2013).

Diante do cenário de crise no abastecimento de água e das regulações legais cada vez mais restritivas na gestão dos recursos hídricos, o setor industrial, em particular, vem sofrendo uma forte pressão para reduzir a demanda de água no processo produtivo. Esse fato, por outro lado, pode trazer consequências bastante positivas, por estimular o uso racional da água em instalações industriais e, com isso, promover o desenvolvimento de práticas mais eficientes, sob o aspecto técnico e ambiental, como o reúso de água (Hespanhol, 2008).

Nesse contexto, o reúso de água é outra importante estratégia na gestão da demanda de água em atividades industriais, pois o efluente gerado em uma etapa do processo produtivo pode ser utilizado em outra etapa, em substituição à água potável, com ou sem tratamento preliminar, dependendo da qualidade do efluente e do uso pretendido, resultando na redução do consumo (Hespanhol, 2008). Os principais destinos do efluente reutilizado na indústria são: os sistemas de refrigeração, as torres para alimentação de caldeiras, a lavagem de gases no controle da emissão de poluentes atmosféricos, a limpeza de pisos, o abastecimento de descargas sanitárias, o combate a incêndio e a irrigação de áreas verdes (Metcalf & Eddy, 2004; Mierzwa & Hespanhol, 2005).

O reúso industrial de efluente pode ser dividido em duas classes: a) macro externo, quando o efluente que se pretende reutilizar é proveniente de uma estação de tratamento de esgoto municipal ou de uma estação de tratamento de efluentes de outra indústria; b) macro interno, quando o efluente é gerado em outras atividades na própria indústria em que se deseja realizar o reúso. Essa última categoria se subdivide em duas outras: 1) reúso direto (em cascata); 2) reúso de efluente tratado. No reúso direto, o efluente proveniente de uma etapa do processo industrial é reutilizado diretamente em outra etapa, sem qualquer tratamento prévio, enquanto que no reúso de efluente tratado, como a própria denominação indica, o efluente deve ser submetido a um tratamento antes de ser reutilizado em outro setor da indústria (Mancuso & Santos, 2003).

O tipo mais comum de reúso industrial de efluente é o macro interno (Metcalf & Eddy, 2004; Hespanhol, 2008). Vários autores reportam sua utilização em diversos ramos do setor industrial, como metalurgia (Maron Jr., 2006), petroquímica (Gripp, 2013) e química (Baum, 2011), metalmecânica (Lopes, 2011), alimentícia (Matsumura, 2007), concreteira (Ucker, Goldfeld, Haraguchi, Santos, Reis & Kemerich, 2013) e outros (Bordonalli & Mendes, 2009). Entretanto, em alguns casos, o reúso de efluente pode ser inviabilizado pela necessidade de implantação de alternativas de tratamento de elevado custo (Mancuso & Santos, 2003; Metcalf & Eddy, 2004).

O reúso direto é indicado quando a qualidade do efluente for compatível com a qualidade mínima requerida no uso pretendido, caso contrário, sua utilização sem controle poderá trazer sérios danos aos equipamentos e unidades

operacionais que irão recebê-lo (Metcalf & Eddy, 2004; Hespanhol, 2008). Por outro lado, o reúso de efluente tratado demanda investigação minuciosa prévia acerca da qualidade do efluente, por meio de análises de laboratório, bem como requer o emprego de tecnologias simples ou avançadas de tratamento, de acordo com a origem do efluente, para adequar a qualidade do efluente ao uso pretendido (Mierzwa & Hespanhol, 2005).

No Brasil, até o momento, não existe uma regulamentação para o reúso industrial de efluente, qualquer que seja a modalidade. A única orientação nacional vigente é a norma brasileira NBR 13.969, criada em 1997, que estabelece quatro classes de reúso e aponta possíveis aplicações para cada classe, bem como recomenda limites para os parâmetros de qualidade considerados relevantes, de acordo com o uso pretendido (ABNT, 1997). Na prática, o requisito qualitativo é comumente orientado pela qualidade requerida na atividade que irá receber o efluente, pois na indústria cada setor possui suas próprias exigências, em razão da ampla diversidade de segmentos (Schulz & Henkes, 2013).

Da mesma forma, o requisito quantitativo deve ser igualmente observado e atendido. Na indústria, essa informação pode ser obtida a partir do levantamento da demanda de água nas atividades com potencial para receber o efluente e da oferta de efluente. Todavia, cabe ressaltar que a quantidade de efluente disponível para reúso industrial pode variar significativamente, dependendo principalmente do tipo de atividade, da capacidade e tipo de produção, da idade das instalações e das práticas operacionais adotadas pela empresa (Metcalf & Eddy, 2004; Mierzwa & Hespanhol, 2005; Hespanhol, 2008).

Embora o reúso de efluente seja uma importante estratégia na gestão da demanda hídrica industrial, sua implantação demanda um amplo planejamento e estudo detalhado, o que, muitas vezes, não é realizado, e acaba por inviabilizar o reúso.

Os aspectos que devem ser considerados são: a inspeção e o diagnóstico do local de intervenção, a identificação de possíveis usos do efluente (direto ou tratado), a determinação e quantificação de requisitos qualitativos e quantitativos, a análise econômico-financeira para implantação do sistema de transporte e tratamento (se for o caso), a avaliação de risco (contaminação, danos a equipamentos, comprometimento da saúde de funcionários) e de oportunidade (antecipação a aspectos legais mais restritivos, enfrentamento da crise hídrica, vantagem competitividade e para a imagem da empresa no mercado nacional e internacional), e o levantamento do custo da água - incluindo a tarifa pelo uso da água, prevista na legislação brasileira (Metcalf & Eddy, 2004).

Além disso, a realização de um diagnóstico acurado sobre o consumo de água e a geração de efluentes pode auxiliar os gestores industriais na tomada de decisão em ações futuras (Hespanhol, 2008).

Segundo HOJI (2003), para dar embasamento à tomada de decisão para investimentos, a viabilidade econômica deve ser analisada por meio de simulações, com base em métodos e critérios que evidenciem os retornos dos investimentos. Para identificar os retornos dos investimentos necessários para implantação do reúso de água em uma indústria, são comumente utilizados quatro métodos de avaliação: Fluxo de Caixa, Payback, Taxa interna de retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

Na prática, para que a modalidade de reúso industrial macro interno de efluente seja eficaz, isto é, traga benefícios sociais e ambientais (redução do consumo, aumento da oferta de água para os usos múltiplos, redução do descarte de efluentes poluentes) e garanta viabilidade econômica, é necessário avaliar individualmente caso a caso (Metcalf & Eddy, 2004).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da implantação do reúso macro interno de efluente em uma indústria de fabricação de estruturas em concreto, no município de Curitiba/PR, considerando requisitos quantitativos, qualitativos e econômico-financeiros. A justificativa para a realização deste estudo se apoia na importância da expansão do reúso industrial de efluente, sobretudo nas regiões metropolitanas, frente à expansão da demanda e da crise hídrica, com impacto direto no setor industrial. Além disso, iniciativas como esta estimulam a atualização tecnológica industrial quanto ao consumo eficiente e racional da água no processo produtivo e a sustentabilidade empresarial.

METODOLOGIA

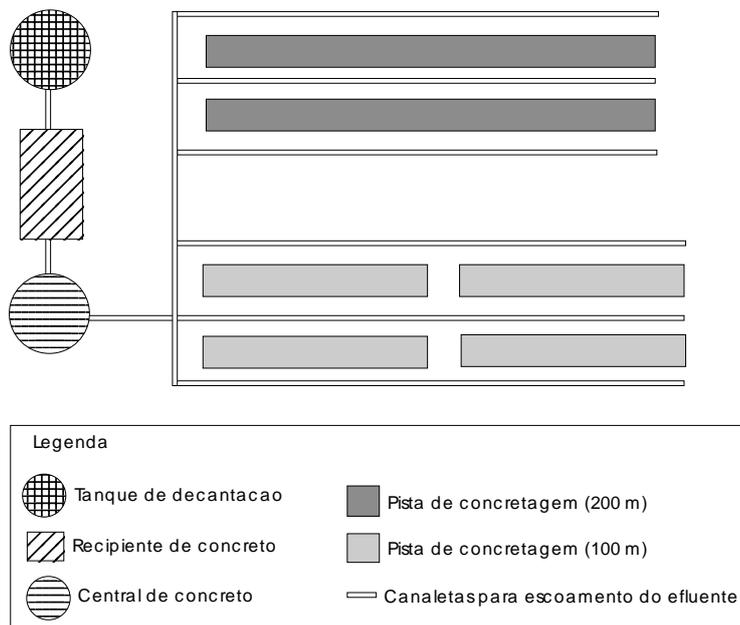
O estudo de caso apresenta uma proposta de reúso macro interno de efluente industrial na cidade de Curitiba, Paraná. Os dados utilizados foram obtidos a partir de levantamento de campo e consulta a informações e base de dados da indústria, objeto da pesquisa. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em três etapas: 1) determinação da oferta e demanda de efluente de reúso no local de intervenção; 2) verificação da qualidade do efluente para reúso e proposição de uma alternativa de tratamento; 3) avaliação econômico-financeira da implantação do sistema de reúso de efluente.

Uma vez que a demanda de água e a oferta de efluente dependem diretamente da produtividade da empresa, foi levantado o histórico da quantidade de peças em concreto que foram fabricadas no período de 11 meses.

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A indústria, objeto deste trabalho, atua no ramo de fabricação de estruturas em concreto armado, como estacas, lajes, pilares e vigas, e possui 220 funcionários. A água consumida pela empresa é captada de um poço artesiano e é utilizada na preparação do concreto, na limpeza das instalações do setor de produção (central de concreto, pistas de concretagem e recipiente de concreto) e nas dependências dos funcionários (cozinha, refeitório e sanitários). O efluente gerado na limpeza das instalações do setor de produção é coletado por meio de canaletas e conduzido a um tanque de decantação, para remoção de sólidos sedimentáveis, e, posteriormente, o efluente segue para a rede coletora de esgoto, responsável também pelo recebimento do esgoto sanitário proveniente das atividades de alimentação e higiene dos funcionários. O tanque de decantação possui formato circular, diâmetro interno de 2 m e área útil de 3,14 m². A Figura 1 mostra o layout das instalações do setor de produção da empresa.

Figura 1 - Layout das instalações do estudo de caso.



Fonte: Autoria própria.

LEVANTAMENTO DA OFERTA DE EFLUENTE

A oferta de efluente para reúso foi estimada a partir da quantidade de efluente gerado na limpeza das três unidades do setor de produção da empresa (central de concreto, pistas de concretagem e recipiente de concreto), por unidade de peça fabricada. Para isso, foram realizadas medições in loco do nível de efluente no tanque de decantação, com o auxílio de uma régua (em milímetros) fixada no interior do tanque, em intervalos de 1 minuto, até que o nível ficasse constante.

Nas pistas de concretagem foi medida a variação do nível de efluente após a lavagem de uma pista de 100 m e o resultado foi multiplicado pelo total de pistas (2 de 200 m e 4 de 100 m). No total foram realizadas 36 lavagens monitoradas, sendo 12 por setor (2 medições diárias, 3 vezes na semana, por 2 semanas).

Para evitar erro nas leituras, a saída do tanque de decantação foi obstruída e uma única lavagem por setor era realizada de cada vez. No cálculo do volume de efluente gerado por lavagem foi utilizada a equação 1.

$$Ve = At \cdot (Hf - Hi) \quad \text{Equação 1}$$

Ve = Volume médio de efluente por lavagem, por unidade do setor de produção (L)

At = Área do tanque de decantação (3,14 m²)

Hf = Nível médio no tanque de decantação por lavagem, por unidade do setor de produção (mm)

Hi = Nível médio no tanque de decantação antes da lavagem (mm)

Para determinar o volume total mensal de efluente gerado na limpeza do setor de produção da indústria foi utilizada a equação 2, que considera o resultado do cálculo de “Ve” (equação 1) e o número total mensal de lavagens de cada unidade de produção (N(c, p, r)) em 11 meses de investigação.

O valor de “N(c, p, r)” foi obtido a partir de um cálculo simples (regra de três direta) entre a quantidade mensal de peças fabricadas nesse período (informação fornecida pela empresa) e o volume médio de efluente gerado por lavagem para a fabricação de uma peça (medido em campo).

$$Ver = \sum (Ve (c, p, r) \cdot N (c, p, r)) \quad \text{Equação 2}$$

Ver = Volume médio de efluente gerado no setor de produção (L/mês)

Ve (c, p, r) = Volume médio de efluente gerado por lavagem, para cada unidade do setor de produção (L)

N (c, p, r) = Número total de lavagens ou comprimento total de pistas lavadas por unidade do setor de produção, conforme dados da empresa (mês-1)

c, p, r = Respectivamente: central de concreto, pistas de concretagem e recipiente de concreto

LEVANTAMENTO DA DEMANDA DE EFLUENTE

A demanda de efluente para reúso foi estimada a partir da quantidade de água consumida na limpeza das três unidades do setor de produção (central de concreto, pistas de concretagem e recipiente de concreto), por unidade de peça fabricada. Essa informação foi obtida por meio do levantamento do consumo médio de água da máquina lavadora de alta pressão (modelo HD 7/15 MAXI, marca Karcher), utilizada na limpeza, e da medição in loco do tempo médio gasto por lavagem de cada unidade de produção.

O consumo de água do equipamento foi determinado em uma consulta às especificações técnicas do fabricante. Nas pistas de concretagem foi medida a variação do nível de efluente após a lavagem de uma pista de 100 m e o resultado foi multiplicado pelo total de pistas (2 de 200 m e 4 de 100 m).

No total foram realizadas 36 medições, sendo 2 medições diárias, 3 vezes na semana, por 2 semanas, para cada unidade de produção. No cálculo da quantidade de água consumida por lavagem, por unidade do setor de produção da indústria, foi utilizada a equação 3.

$$Va = C.T \quad \text{Equação 3}$$

Va = Volume médio de água consumida por lavagem, por unidade do setor de produção (L)

C = Consumo médio de água da máquina lavadora por lavagem, por unidade do setor de produção (L/s)

T = Tempo gasto em uma lavagem (s)

A demanda mensal de água para a limpeza do setor de produção foi determinada pela equação 4, em que são considerados os resultados do cálculo de “Va” (equação 3) e o número total mensal de lavagens de cada unidade de produção (N(c, p, r)) no intervalo de 11 meses.

O valor de “N(c, p, r)” foi obtido a partir de um cálculo simples (regra de três direta) entre a quantidade mensal de peças fabricadas nesse período (informação fornecida pela empresa) e o consumo médio de água por lavagem para a fabricação de uma peça (medido em campo).

$$Vta = \sum (Va(c, p, r) \cdot N(c, p, r)) \quad \text{Equação 4}$$

Vta = Volume médio de água consumida na limpeza do setor de produção (L/mês)

Va (c, p, r) = Volume médio de água consumida por lavagem, para cada unidade do setor de produção (L)

N (c, p, r) = Número total de lavagens ou comprimento total de pistas lavadas por unidade do setor de produção, conforme dados da empresa (mês-1)

c, p, r = Respectivamente: central de concreto, pistas de concretagem e recipiente de concreto

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO EFLUENTE DE REÚSO

Para avaliar a qualidade do efluente gerado na limpeza do setor de produção da indústria foram coletadas seis amostras de 500 mL do efluente na saída do tanque de decantação, sendo 3 amostras pela manhã e 3 amostras à tarde, em dias alternados, no intervalo de 2 semanas, e, em seguida, as amostras foram submetidas a análises de laboratório para quantificar os parâmetros recomendados pela norma brasileira NBR 13.969 para reúso de água classe 2 (ABNT, 1997). Os parâmetros analisados foram: turbidez (por espectrofotometria), coliforme fecal (método SM 9221 C) e cloro residual (método SM 4500 G) (APHA, 2015).

A partir das análises de laboratório foi possível verificar se a qualidade do efluente do tanque de decantação é adequada para o reúso pretendido, que é a limpeza do setor de produção, ou se a efluente demanda tratamento antes de sua reutilização. Essa avaliação permitiu identificar quais parâmetros de qualidade estão acima do limite recomendado pela norma e, nesse caso, qual a alternativa de tratamento mais indicada, a partir do levantamento de trabalhos reportados na literatura científica (artigos, dissertações, teses e livros).

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Para o levantamento do investimento de implantação do sistema de reúso na indústria estudada foi considerado o valor do montante inicial para o transporte e a adequação da qualidade do efluente, a partir de orçamentos solicitados a

empresas especializadas em equipamentos para tratamento de efluentes industriais.

A análise econômica do estudo foi realizada por meio da avaliação do fluxo de caixa, considerando-se: entradas) custo evitado com a tarifa cobrada pelo município de Curitiba na captação de água; saídas) capital inicial investido na infraestrutura de reúso, custo adicional mensal com a operação e manutenção do sistema de tratamento e transporte do efluente tratado.

Para estimar o investimento em infraestrutura, utilizou-se o orçamento do sistema de tratamento e transporte do efluente obtido em consulta a representantes comerciais. O custo dos equipamentos foi determinado a partir de três orçamentos diferentes, para configurações semelhantes, e foi escolhido o valor intermediário.

O custo mensal com a operação do reúso consistiu no levantamento do consumo médio de energia da bomba, admitindo-se o mês de maior vazão de efluente (maio), do tempo necessário para o seu funcionamento e do valor cobrado pela companhia de energia do Paraná por kW consumido. A mão de obra não foi considerada no custo da operação, pois trata-se de um sistema simples que pode ser operado pelos próprios funcionários da empresa após adequado treinamento.

O custo médio mensal com a manutenção do reúso inclui apenas a limpeza semanal do filtro, pois a revisão da bomba e a reposição camada filtrante possuem tempo de inspeção superior ao horizonte de retorno financeiro previsto para o estudo, conforme especificações técnicas do fabricante. Para estimar a quantidade de retrolavagens necessárias, utilizou-se os dados de turbidez do efluente bruto.

NAKAYAMA & BUCKS (1986) afirmam que não existe uma regra universal para prever qual o melhor momento de limpeza do filtro, porém SILVA et al. (2003) declaram que a retrolavagem de filtros deve ser realizada quando ocorre a diminuição da carga de filtragem em cerca de 20%, em comparação à carga do filtro limpo. A turbidez é um importante parâmetro para monitorar a operação do filtro e determinar a necessidade de limpeza.

Por fim, na análise econômica deste trabalho foram admitidos os seguintes indicadores financeiros: VPL de 12 meses e TMA de 16% (condições estabelecidas pela empresa para o retorno dos investimentos).

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

OFERTA E DEMANDA DE EFLUENTE PARA REÚSO

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o volume de efluente medido na lavagem de cada unidade do setor de produção, por peça produzida, foi em média: 2,2 ($\pm 0,2$) L por metro linear de pista de concretagem; 12,3 ($\pm 0,7$) L na central de concreto; 7,5 ($\pm 0,6$) L no recipiente de concreto. A variação do nível de efluente no tanque de decantação, por peça produzida, foi em média: 0,7 ($\pm 0,06$) cm por metro linear de pista de concretagem; 0,4 ($\pm 0,02$) cm na central de concreto; 1,9 ($\pm 0,2$) cm no recipiente de concreto.

Já o volume de água medido na lavagem de cada unidade do setor de produção, por peça fabricada, foi em média: 3,7 ($\pm 0,3$) L por metro linear de pista de concretagem; 16,9 ($\pm 0,62$) L na central de concreto; 11,9 ($\pm 0,4$) L no recipiente de concreto.

O consumo médio de água pela máquina lavadora de alta pressão foi de 0,2 L/s e o tempo médio gasto medido na operação dessa máquina, por peça fabricada, foi em média: 18,6 ($\pm 1,6$) s na pista de concretagem (em 1 m linear de pista); 84,8 ($\pm 3,0$) s na central de concreto; 59,7 ($\pm 2,0$) s no recipiente de concreto.

A Tabela 1 apresenta o resultado dos cálculos de oferta mensal de efluente e demanda mensal de água, para cada unidade do setor de produção e global, bem como mostra a estimativa de redução média no volume água captada com a implantação do sistema de reúso.

Tabela 1 - Estimativa do volume médio mensal de efluente e do consumo de água por setor de produção, e da redução do consumo de água devido ao reúso de efluente.

Mês	PISTAS DE CONCRETAGEM			CENTRAL DE CONCRETO			RECIPIENTE DE CONCRETO			Σ Volume efluente ² (L)	Σ Consumo água ³ (L)	Redução consumo água ⁴ (%)
	Pistas lavadas ¹ (m)	Volume efluente (L)	Consumo água (L)	Número lavagens ¹	Volume efluente (L)	Consumo água (L)	Número lavagens ¹	Volume efluente (L)	Consumo água (L)			
1	1.027	2.260,4	3.802	34	416,5	575	272	2.034,6	3.237	4.711,4	7.613,0	61,9
2	3.650	8.029,3	13.504	44	539,0	744	352	2.633,0	4.189	11.201,2	18.436,0	60,8
3	3.223	7.089,5	11.923	42	514,5	710	336	2.513,3	3.998	10.117,3	16.632,0	60,8
4	3.463	7.619,5	12.815	40	490,0	676	320	2.393,6	3.808	10.503,1	17.299,0	60,7
5	4.223	9.289,9	15.624	44	539,0	744	352	2.633,0	4.189	12.461,8	20.556,0	60,6
6	4.564	10.041,7	16.888	40	490,0	676	320	2.393,6	3.808	12.925,3	21.372,0	60,5
7	5.362	11.796,8	19.840	40	490,0	676	320	2.393,6	3.808	14.680,4	24.324,0	60,4
8	3.422	7.528,6	12.662	44	539,0	744	352	2.633,0	4.189	10.700,5	17.594,0	60,8
9	4.808	10.577,8	17.790	46	563,5	777	368	2.752,6	4.379	13.893,9	22.947,0	60,5
10	2.924	6.431,7	10.817	42	514,5	710	336	2.513,3	3.998	9.459,5	15.525,0	60,9
11	1.341	2.950,5	4.962	42	514,5	710	336	2.513,3	3.998	5.978,3	9.670,0	61,8
Média	-	7.601,4 ($\pm 2.816,2$)	12.784,3 ($\pm 4.736,3$)	-	510,0 ($\pm 37,4$)	703,8 ($\pm 51,5$)	-	2.491,5 ($\pm 182,7$)	3.963,7 ($\pm 290,6$)	10.603,0 ($\pm 2.928,3$)	17.451,6 ($\pm 4.909,9$)	60,9 ($\pm 0,5$)

¹ Dados fornecidos pela empresa.

² Volume total médio mensal de efluente gerado na lavagem das três unidades de produção.

³ Consumo total médio mensal de água na lavagem das três unidades de produção.

⁴ Consumo evitado de água com o reúso de efluente.

Os resultados apresentados na Tabela 1 revelam que o consumo médio mensal de água, entre os 11 meses de investigação, foi de 17.451,6 ($\pm 4.909,9$) L/mês, enquanto que a oferta média mensal de efluente, no mesmo período, foi de 10.603,8 ($\pm 2.928,3$) L/mês. Isso significa que o reúso de efluente pode suprir aproximadamente 61% da demanda mensal de água do setor de produção da indústria, o que reduziria o consumo médio de 17.451,6 L/mês para 6.848,8 L/mês.

Portanto, é possível afirmar que a implantação do sistema de reúso de efluente na indústria estudada pode trazer redução significativa na demanda hídrica da empresa. Diante da crise hídrica enfrentada recentemente na região sudeste do país, a redução do consumo de água em cerca de 61% representa uma boa prática de uso eficiente da água, além de ser uma estratégia corporativa de gestão do risco de uma futura restrição ou mesmo interrupção no abastecimento

de água frente a um quadro de escassez hídrica na região metropolitana de Curitiba.

Segundo estudo publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2015, a quantidade de água consumida em uma atividade industrial é apontada como fator determinante na decisão pelo reúso de água. Em outras palavras, quanto maior o consumo de água, maior é a tendência para o emprego dessa prática (Féres, Reynaud & Thomas, 2015).

É importante destacar também que, a princípio, o efluente gerado na indústria pode ser permanentemente reutilizado e isso reduziria ainda mais sua demanda hídrica. Todavia, essa prática, precisa ser analisada com cautela, pois a reciclagem do efluente tende a aumentar a concentração dos poluentes arrastados a cada nova utilização e isso pode comprometer a qualidade do efluente (Metcalf & Eddy, 2004). Por essa razão, é recomendado um estudo complementar, até mesmo com a utilização de modelagem para estimar alterações no efluente e propor possíveis soluções para o reúso continuado.

Por fim, a oferta de efluente pode ser ainda maior, para este estudo de caso, se a indústria considerar também o aproveitamento de águas cinzas, provenientes de parte das atividades dos funcionários (refeitório e lavatórios localizados junto aos sanitários), para abastecimento dos vasos sanitários. Um estudo complementar é recomendado, para se obter mais informações sobre a viabilidade qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas na indústria estudada.

QUALIDADE DO EFLUENTE PARA REÚSO

A Tabela 2 apresenta o resultado das análises de laboratório realizadas em amostras do efluente do tanque de decantação, e os valores máximos recomendados para os parâmetros de qualidade estabelecidos na NBR 13.969.

O reúso pretendido na indústria em estudo é classificado como classe 2. De acordo com a norma, o reúso classe 2 é destinado à lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, bem como manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes (ABNT, 1997).

Tabela 2 - Análises físico-químicas e microbiológica das amostras de efluente do tanque de decantação.

PARÂMETROS DE QUALIDADE				
		Turbidez (uT)	Coliforme fecal (NMP/100 mL)	Cloro residual (mg/L)
Amostras	1	400	< 500	1,81
	2	697	< 500	0,75
	3	683	< 500	0,67
	4	610	< 500	1,64
	5	496	< 500	1,22
	6	701	< 500	0,83
NBR 13.969 *		< 5	< 500	> 0,5

* Limite máximo estabelecido para o reúso de água classe 2.

Dentre os parâmetros de qualidade analisados, apenas a turbidez ultrapassou o limite máximo recomendado pela norma. Essa informação revela que o efluente

só poderá ser reutilizado na limpeza do setor de produção da empresa após tratamento simplificado.

Diante disso, a alternativa proposta para o tratamento do efluente do tanque de decantação deve ser capaz de reduzir a concentração de sólidos em suspensão para que a turbidez alcance valores abaixo de 5 uT.

A turbidez é um parâmetro físico que está associado à presença de sólidos em suspensão (orgânicos e inorgânicos). Isso significa que quanto maior a concentração de sólidos suspensos, maior será a turbidez medida (Von Sperling, 2014).

Efluentes com elevada turbidez, como é o caso, podem danificar equipamentos e tubulações durante seu transporte, além de possuir aspecto visual ruim, devido à ausência de transparência. Por isso, nessas condições o efluente deve ser tratado (Metcalf & Eddy, 2004).

A partir do levantamento de literatura científica sobre o assunto, verificou-se que o método mais indicado para o tratamento de efluentes industriais com elevada turbidez e ausência de material orgânico é a decantação seguida de filtração simples (Metcalf & Eddy, 2004; Cavalcanti, 2009; Ucker, Goldfeld, Haraguchi, Santos, Reis & Kemerich, 2013).

Uma vez que a indústria analisada já possui um tanque de decantação, foi necessário apenas dimensionar e definir as características do filtro. Para isso, foram realizadas consultas a três empresas especializadas em equipamentos para tratamento de efluentes industriais, com o objetivo de determinar qual a melhor configuração para o projeto do filtro. A Tabela 3 resume o resultado desse levantamento.

Tabela 3. Configuração do sistema de filtração.

Características	
Material do filtro:	Polietileno com fibra de vidro
Área de filtração:	506,45 cm ²
Altura do filtro:	1,37 m
Camada filtrante:	50 kg de areia
Sistema de limpeza:	Válvula de retrolavagem manual

Fonte: Autoria própria.

Além disso, a saída do filtro foi projetada para receber uma tela para impedir a passagem de partículas com diâmetro acima de 0,15 mm. Para o dimensionamento do filtro foram utilizados os dados de volume máximo e médio de efluente na saída do tanque de decantação (478 e 348 L/dia) e turbidez máxima e média (701 e 598 uT) – informações obtidas nas medições em campo.

ANÁLISE DE INVESTIMENTO

A Tabela 4 apresenta o resultado da estimativa de investimento para implantação do reúso de efluente na indústria analisada. A bomba (dimensionada para a vazão de até 10 L/min), a tubulação e as conexões foram consideradas para o transporte do efluente tratado desde a saída do filtro até um reservatório elevado com capacidade para 750 L (valor admitido com base na oferta média diária de efluente).

Tabela 4. Estimativa de investimento para implantação do reúso.

Descrição	Orçamento ¹
Filtro de areia ²	R\$ 2.411,18
Bomba para efluente	R\$ 470,00
Caixa d'água para 750 L em polietileno	R\$ 269,00
38 m de tubulação de esgoto e conexões	R\$ 94,00
Total:	R\$ 3.244,18

¹ Valor orçado na cidade de Curitiba/PR (2016).

² No orçamento está incluído o valor da instalação do filtro.

O custo com a instalação da infraestrutura para o reúso está incluído no orçamento, e, por isso, foi desconsiderado. Da mesma forma, o custo com a mão de obra para a operação do reúso foi desconsiderado, pois os próprios funcionários que atuam nas linhas de produção da empresa podem operar o filtro, após receberem treinamento, já que se trata de uma tecnologia de simples utilização e manuseio.

Quanto ao custo energético, estimou-se que o sistema demanda baixo consumo mensal de energia elétrica, pois a bomba utilizada para levar efluente tratado até o reservatório deve funcionar por 267 minutos no mês (ou 12 minutos por dia em um mês), considerando-se 22 dias úteis de trabalho. Levando-se em conta que o sistema de reúso consome energia no horário “Fora de Ponta” (menor tarifa), segundo levantamento realizado junto à Companhia Paranaense de Energia (COPEL), tem-se como resultado o custo médio adicional mensal de R\$ 1,34. Além disso, deve-se destacar que o consumo de efluente tratado reduz a demanda por água potável captada no poço por meio de bomba e, assim, parte do custo com energia no transporte do efluente pode ser absorvido pela migração de um sistema para o outro.

Avaliou-se também neste estudo o consumo de energia elétrica necessária para o funcionamento do sistema de retrolavagem, previsto para a limpeza periódica do filtro. A análise da demanda energética na retrolavagem revelou que o consumo de energia é irrelevante, pois estima-se 1 limpeza semanal do filtro, a partir do estudo realizado por SILVA et al. (2003), com cerca de 15 minutos de operação da bomba para retrolavagem. Portanto, pode-se considerar esse um custo inexpressivo diante do montante de investimento em infraestrutura.

Os resultados da análise econômica indicaram VPL negativo para o tempo de retorno do investimento de 12 meses (valor estipulado pela empresa), porém verificou-se que o payback calculado resultou 3,43 anos para a recuperação do recurso financeiro investido. Por outro lado, a TIR calculada foi de 29,15% ao ano, o que mostra que apesar do investimento não ser rentável no período desejável de 12 meses, a implantação do sistema de reúso pode ser considerada um bom investimento, pois a taxa de retorno foi muito maior do que a taxa mínima de atratividade estabelecida para o projeto (16%).

A indústria analisada neste estudo utiliza água captada de um poço artesiano próprio, para consumo humano e industrial (após cloração). A captação está sujeita a cobrança no estado do Paraná, conforme determina o Decreto nº 9.957 de 2014, que estabelece que a “extração de água de aquífero subterrâneo para o consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo”

deve respeitar a outorga. Segundo registros da empresa, seu consumo de água está enquadrado na faixa de isenção de tarifa, e, nesse caso, não há fluxo de entrada de recursos na análise econômica quando da substituição do modelo atual pelo sistema de reúso.

Em uma primeira análise, a manutenção da condição atual de obtenção de água para o abastecimento industrial pode parecer vantajosa, mas não é. Diante do cenário recorrente de estresse hídrico e de restrições impostas ao setor industrial brasileiro, por regulações ambientais, para descarte de efluentes em corpos d'água e captação de água, o resultado da análise econômica para implantação do sistema de reúso toma outra proporção e, sem dúvida, se mostra uma decisão viável e estratégica para a empresa, no sentido da gestão do risco de escassez hídrica no seu processo produtivo.

Assumindo uma postura ativa perante o problema eminente da crise hídrica, a indústria promove a ecoeficiência e se antecipa no enfrentamento de possíveis racionamentos de água, como ocorreu na cidade de São Paulo em 2015, pois o sistema de reúso do efluente tratado pode suprir cerca de 60% da demanda de água do processo produtivo da empresa.

Vale ressaltar que a implantação do reúso não deve ser analisada apenas sob a ótica do retorno financeiro, mas também como instrumento de gestão da oferta hídrica para os setores da sociedade que demandam forçosamente água potável, como o consumo humano, além da garantia de manutenção da qualidade dos sistemas aquáticos, reduzindo o lançamento de efluentes nos corpos hídricos e minimizando o volume de captação de água de poços, cuja pureza é elevada para utilização em atividades que não necessitam dessa qualidade.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Um levantamento realizado pelo IPEA em 2015 mostrou que o custo da água, incluindo o valor da tarifa cobrada pela utilização desse bem, é o segundo aspecto determinante na decisão de implantação do reúso de efluente em uma planta industrial (Féres, Reynaud & Thomas, 2015).

A cobrança pelo uso da água é um instrumento legal de gestão da demanda hídrica, previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, e seu objetivo é “reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor”, “incentivar a racionalização do uso da água” e “obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos” (Brasil, 1997).

Segundo o artigo 21 dessa lei, o uso dos recursos hídricos deve ser cobrado “nas derivações, captações e extrações de água”, bem como “nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos” (Brasil, 1997).

Sendo assim, sob o aspecto econômico, a cobrança pelo uso da água deve exercer um papel muito importante sobre o reúso de efluente no setor industrial, pois deve estimular a implantação dessa prática, como medida alternativa frente ao elevado custo da água (Féres, Reynaud & Thomas 2015).

Com a redução da oferta hídrica no país, sobretudo nas grandes cidades, por conta do crescimento do consumo, da contaminação de corpos d'água e da escassez (Hespanhol, 2008; PBMC, 2013), há uma forte tendência ao aumento do

valor da água (captação, tratamento e distribuição aos usuários) e da tarifa cobrada pelo uso da água (valor econômico atribuído ao bem), afetando diretamente o custo da água no setor industrial (Demajorovic, Caruso & Jacobi, 2015).

Essa tendência pode ser observada em um estudo realizado por pesquisadores da Universidade de São Paulo junto a usuários de água do setor industrial na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá, no estado de São Paulo. O resultado do trabalho mostrou que, segundo os próprios usuários, a tarifa atual pelo uso da água não representa um estímulo efetivo para a mudança de comportamento, porque o valor cobrado é irrisório frente aos custos com a implantação de projetos para reduzir o consumo de água na indústria (captação de água bruta: R\$ 0,01/m³; descarte de carga orgânica: R\$ 0,10/kg DBO_{5,20}), e, portanto, para esses valores deveriam ser revistos (Demajorovic, Caruso & Jacobi, 2015).

Deve ser considerada ainda a perspectiva de atualização dos padrões de lançamento de efluentes industriais em corpos d'água. Diante de regulações legais mais restritivas, as indústrias terão que modernizar suas estações de tratamento, e isso exigirá novos investimentos sem que se tenha o retorno previsto no reúso de água, já que a destinação do efluente industrial tratado são os corpos hídricos (Féres, Reynaud & Thomas, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a implantação do sistema de reúso de água na indústria de fabricação de peças de concreto investigada neste estudo de caso é estratégica, considerando-se os requisitos quantitativos, qualitativos e econômico-financeiros que foram analisados no trabalho.

Verificou-se a necessidade de tratamento simplificado do efluente para remoção de turbidez, conforme o limite estabelecido na norma NBR 13.969, antes do reúso pretendido (limpeza de pátios). A alternativa proposta para o tratamento foi apenas um filtro de areia (área de filtração de 506,45 cm² e altura do filtro de 1,37 m), já que a indústria possui um tanque de decantação em operação, para atender os requisitos de lançamento do efluente na rede coletora de esgoto.

O investimento necessário para a implantação do reúso foi estimado em R\$ 3.244,18. No cálculo foi considerado o custo médio para a adequação da qualidade do efluente (filtro de areia) e o transporte do efluente (bomba, tubulação e conexões), desde a saída do filtro até um reservatório elevado localizado próximo à área de utilização do efluente tratado.

Com o reúso de água a empresa poderá reduzir até 61% da demanda de água do setor de produção. Isso representa uma redução média no consumo mensal de água potável de 17.451,6 L para 6.848,8 L e a economia de 10.602,8 L de água por mês.

Diante do cenário de aumento crescente da demanda de água, sobretudo nos grandes centros urbanos, e da crise hídrica enfrentada recentemente em diversas regiões do país, a redução do consumo representa uma boa prática industrial de uso eficiente e racional da água, como preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Por isso, o investimento no reúso de água pode ser uma estratégia na gestão do risco de uma futura restrição ou mesmo interrupção no abastecimento de água do setor industrial frente a um quadro de escassez hídrica, e uma oportunidade de antecipação da empresa às atualizações legais que regulam os padrões de lançamento de efluente em corpos d'água, as quais devem ser mais restritivas a médio prazo.

Por fim, há uma forte tendência nacional ao aumento do valor da água (captação, tratamento e distribuição aos usuários) e da tarifa cobrada pelo uso da água (valor econômico atribuído a esse bem), o que deve afetar diretamente o custo médio da água para o setor industrial.

Water reuse in manufacturing industry of structures in concrete: an environmental management strategy

ABSTRACT

In face of water crises registered in Brazil, the industrial reuse of water and treated effluent is an important instrument in the management of water resources, especially in large cities. The objective of this study was to analyze the opportunity to reduce the consumption of drinking water in concrete manufacturing industry, considering quantitative, qualitative and economic-financial requirements. The methodology used was based on: field surveys to determine the supply and demand of reuse water in the studied project; survey of required reuse water quality; proposal for treatment and evaluation of the necessary investment. The results showed a reduction of 61% in the monthly demand of drinking water of the analyzed enterprise, with a low investment (around R\$ 3,000.00). It was concluded that the reuse of water may be considered a strategic alternative for the company, especially in a scenario of charging for the use of water and restriction in case of scarcity.

KEYWORDS: Industrial effluent. Effluent reuse. Charging for water. Corporate sustainability.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma NBR 13969**: Tanques Sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater** – Method 2540 G. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation. 21 ed. Washington, 2015.

Baum, D. **Reúso de água na indústria química** - estudo de caso de uma unidade produtiva de nitrocelulose. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Brasil. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997, p. 470.

Brasil. **Política Federal do Saneamento Básico. Lei nº 11.445**, 05 de janeiro de 2007, que instituiu a Política Federal do Saneamento Básico e estabelece diretrizes para o saneamento básico. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>

Bordonalli, A. C. O., Mendes, C. G. N. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 235-244, 2009.

Cavalcanti, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuais industriais**. São Paulo: Editora Técnica Ltda, 2009.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia, 2018. Disponível em:
<http://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp>. Acesso em: 23 mar.2018

Demajorovic, J., Caruso, C., Jacobi, P. R. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 5, p. 1193-1214, 2015.

Féres, J., Reynaud, A., Thomas, A. **Water reuse in Brazilian manufacturing firms**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2015.

Gripp, V. S. **Análise ambiental, energética e econômica de arranjo processual para reúso de água em refinaria de petróleo**. 2013. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Hespanhol, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Revista de Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131-157, 2008.

HOJI, Masakazu. **Administração Financeira Uma Abordagem Prática**. Atlas. São Paulo, 2003.

Lopes, M. A. **Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metalomecânica**. 2011. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2011.

Mancuso, P. C. S., Santos, H. F. Coord.: Philippi, A. Jr. **Reúso de água**. São Paulo: Editora Manole, 2003.

Marengo, J. A. Água e mudanças climáticas. **Revista de Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

Maron J. R. **Reúso de água em indústria metalúrgica rolamenteira - estudo de caso da SKF do Brasil Ltda**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Matsumura, E. M. **Perspectivas para conservação e reúso de água na indústria de alimentos - estudo de uma unidade de processamento de frangos**. 2007. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Metcalf e Eddy, Inc. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L., Burton H., David Stensel. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed., New York: McGraw-Hill, 2004.

Mierzwa, J. C., Hespanhol, I. **Água na indústria – Uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986.

PARANÁ. **Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Decreto nº 9.957**, de 23 de janeiro de 2014, que dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de

recursos hídricos e adota outras providências. Disponível em:

<<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=113097&indice=1&totalRegistros=1>>.

PBMC. Primeiro relatório de avaliação nacional: impactos, vulnerabilidades e adaptação (Relatório de pesquisa/2015). **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, Instituto de Pesquisa Científica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE- UFRJ), v. 2, 2015.

Schulz, C. T., Henkes, J. A. Reaproveitamento de água da estação de tratamento de efluentes: empresa Intelbras – São José (SC). **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 338-384, 2013.

SILVA, L.G.F.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA, 2003. v.2, Cap.12, p.259-309. (Série Engenharia Agrícola)

Ucker, F. E., Goldfeld, A. P. F. B., Haraguchi, M. T., Santos, F. C. V., Reis, A., Kemerich, P. D. C. Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos em concreiteira. **Revista Eletrônica em Gestão**, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 15, p. 2990-2997, 2013.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed., Minas Gerais: Editora UFMG, 2014.

Recebido: 22 jan. 2018.

Aprovado: 05 mai. 2016.

DOI: 10.3895/rts.v14n34.7662

Como citar: ODPPES, R. J.; MICHALOVICZ, D. T.; BILOTTA, P. Reúso de água em indústria de fabricação de estruturas em concreto: uma estratégia de gestão ambiental. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 14, n. 34, p. 82-100, out./dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/7662>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rafael Jaros Odppes

Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, n. 5.300, Bairro Campo Comprido, Curitiba, Paraná, CEP 81280-330.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

