



Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

dossiê técnico

Reúso da água em indústrias

Lucas Gomes Rocha

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC

Junho/2011
Edição atualizada em Maio/2022





Serviço Brasileiro de **Respostas Técnicas**

dossiê técnico

Reúso da água em indústrias

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT fornece soluções de informação tecnológica sob medida, relacionadas aos processos produtivos das Micro e Pequenas Empresas. Ele é estruturado em rede, sendo operacionalizado por centros de pesquisa, universidades, centros de educação profissional e tecnologias industriais, bem como associações que promovam a interface entre a oferta e a demanda tecnológica. O SBRT é apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e de seus institutos: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT.



TÉCPAR



FIERGS SENAI

Sistema FIEB TEL

SENAI



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA

Dossiê Técnico	ROCHA, Lucas Gomes Reúso da água em indústrias Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC 3/6/2011
Resumo	Neste dossiê são abordadas informações sobre o reúso da água em indústrias, os principais tipos de tratamentos da água empregados quando se tem como objetivo o reúso e a legislação pertinente sobre o assunto.
Assunto	TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIAS PARA PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO
Palavras-chave	<i>Aproveitamento de resíduo; efluente; reciclagem; reúso da água; tratamento de efluente industrial; uso de água residuária</i>
Atualizado por	ROCHA, Lucas Gomes



Salvo indicação contrária, este conteúdo está licenciado sob a proteção da Licença de Atribuição 3.0 da Creative Commons. É permitida a cópia, distribuição e execução desta obra - bem como as obras derivadas criadas a partir dela - desde que criem obras não comerciais e sejam dados os créditos ao autor, com menção ao: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - <http://www.respostatecnica.org.br>

Para os termos desta licença, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVO	3
3 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA E REQUISITOS DE QUALIDADE.....	3
3.1 Matéria-prima.....	3
3.2 Uso como fluido auxiliar	4
3.3 Uso para geração de energia.....	4
3.4 Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento	4
3.5 Outros usos	4
4 PRINCIPAIS OPÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA	5
5 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE REÚSO INDUSTRIAL	5
5.1 Reúso Macro externo	5
5.2 Reúso Macro interno.....	6
6 TECNOLOGIAS E TRATAMENTOS UTILIZADOS VISANDO O REÚSO DE EFLUENTES	9
6.1 Adsorção em carvão ativado.....	9
6.2 Oxidação ou redução química.....	9
6.3 Coagulação/Floculação	10
6.4 Separação por membranas.....	11
6.5 Processo de troca iônica	12
6.6 Destilação	13
6.7 Precipitação química.....	13
7 CUIDADOS NO REÚSO DA ÁGUA	14
8 LEGISLAÇÃO	15
9 INSTITUIÇÕES DE APOIO AO REÚSO DA ÁGUA NO BRASIL.....	16
9.1 Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA)	16
9.2 Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Afluentes (LABTARE)	17
Conclusões e Recomendações.....	17
Referências.....	17

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

As atividades industriais produzem volumes significativos de efluentes líquidos, muitas vezes diretamente lançados em corpos hídricos sem o tratamento adequado. O impacto ambiental gerado pelo descarte irregular destes efluentes contribui significativamente para a escassez da água, a degradação de ambientes naturais e a ocorrência de inúmeras doenças (FERIS, 2008).

Uma das abordagens para minimizar o volume de captação de água potável e o descarte de efluentes é o reúso da água dentro da unidade industrial. Tal prática tem se popularizado e sua aplicação vem crescendo com o passar dos anos influenciada por fatores como a efetivação da cobrança pelo uso e descarte de água e efluentes, o custo ascendente da água potável, a baixa disponibilidade regional e as exigências crescentes na legislação de emissão de efluentes e disposição no meio natural (JUNIOR, 2006).

O reaproveitamento ou reúso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para a mesma ou outra finalidade. De uma maneira geral, a prática do reúso implica em identificar as demandas para o efluente disponível e avaliar os requisitos de qualidade exigidos na aplicação de interesse, confrontando com as características do efluente disponível. (SOUZA, 2010).

Ações desta natureza têm reflexos diretos e potenciais na imagem das empresas, demonstrando a crescente conscientização do setor com relação à preservação ambiental e responsabilidade social, bem como sobre o aumento da competitividade empresarial, em função dos seguintes fatores (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP, 2004):

- Aumento do valor agregado dos produtos.
- Redução dos custos relativos aos sistemas de captação, abastecimento, tratamento, operação e distribuição de água, o mesmo valendo para os efluentes gerados; refletindo de forma direta nos custos de produção e reduzindo custos relativos à cobrança pelo uso da água;
- Redução de custos de manutenção corretiva, uma vez que a implantação de um sistema de gestão da água implica no estabelecimento de rotinas de manutenção preventiva;
- Redução do consumo de energia e de produtos químicos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste dossiê é fornecer informações sobre os procedimentos necessários para a implantação da prática do reúso da água em indústrias. Espera-se com este dossiê oferecer subsídios para que o setor produtivo possa contribuir de forma efetiva para o desenvolvimento sustentável do país tendo em vista os benefícios ambientais, sociais e econômicos deste modelo de gestão da água.

3 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA E REQUISITOS DE QUALIDADE

Na indústria, de uma maneira geral, pode-se dizer que a água encontra as seguintes aplicações (MIERZWA, 2002; FIESP, 2004):

3.1 Matéria-prima

Como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, indústrias de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, indústria de cosméticos, indústrias de alimentos e conservas e indústria farmacêutica.

Para esse tipo de aplicação, o grau de qualidade da água pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com característica equivalente ou superior à

da água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo, proteger a saúde dos consumidores finais e/ou garantir a qualidade final do produto. Em outros casos a água deve apresentar um alto grau de pureza.

3.2 Uso como fluido auxiliar

A água, como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem.

Da mesma forma que a água utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água para uso como um fluido auxiliar irá depender do processo a que esta se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, o grau de qualidade será mais ou menos restritivo, em função do tipo de produto que se deseja obter. Não havendo contato da água com o produto final, esta poderá apresentar um grau de qualidade menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes.

3.3 Uso para geração de energia

Dependendo do processo de transformação utilizado a água deverá apresentar graus muito diferentes de qualidade. No aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo-se utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema de reserva, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia.

Já para o aproveitamento da energia térmica, após aquecimento e vaporização da água por meio do fornecimento de energia térmica, a mesma deve apresentar um elevado grau de qualidade, para que não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia.

3.4 Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento

Nestes casos, a água é utilizada como fonte de energia para aquecimento, principalmente na forma de vapor, ou então, para remover o calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor ou então devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento.

Para a utilização da água na forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante elevado, conforme comentado anteriormente, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade bem menos restritivo, devendo-se levar em consideração a proteção dos equipamentos com os quais esta água irá entrar em contato.

3.5 Outros usos

Utilização de água para combate a incêndio, rega de áreas verdes, lavagem de equipamentos ou instalações e incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais sejam na fase sólida, líquida ou gasosa.

Dependendo da função a ser desempenhada, a água deve apresentar características físicas, químicas e biológicas, que possibilitem a obtenção dos melhores resultados possíveis, já que estas funções poderão comprometer o desempenho global do processo que está sendo ou virá a ser desenvolvido.

Assim sendo, quando a água é utilizada para a limpeza dos equipamentos de processo, pode ser necessário utilizar uma água com elevado grau de pureza, principalmente quando os processos a serem desenvolvidos não toleram a presença de outras substâncias químicas e/ou microrganismos como, por exemplo, nas indústrias farmacêuticas, eletrônicas, de química fina e fotográfica, entre outras.

4 PRINCIPAIS OPÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA

Segundo Rodrigues (2005), as principais opções indicadas para o reúso da água em uma indústria, são:

- Torres de resfriamento;
- Caldeiras;
- Construção civil, incluindo preparação e cura de concreto, e para compactação do solo;
- Irrigação de áreas verdes das indústrias, lavagem de piso e de alguns tipos de peças (fundamentalmente na indústria mecânica); e
- Processos industriais.

Mierzwa (2002) ressalta que estes usos apresentados referem-se geralmente às atividades que mais consomem água em uma indústria e onde os padrões de qualidade exigidos para uso não são muito restritivos, o que não impede que o reúso possa ser feito em qualquer outra atividade, desde que as características da água a ser utilizada atendam aos requisitos de qualidade exigidos para a aplicação que se pretende.

5 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE REÚSO INDUSTRIAL

Para análise da implantação do reúso de efluentes na indústria, há duas alternativas a serem consideradas. A primeira delas refere-se ao reúso macro externo (FIG. 1), definido como o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou outras indústrias. A segunda, é o reúso macro interno, definido como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria (FIESP, 2004).

5.1 Reúso Macro externo

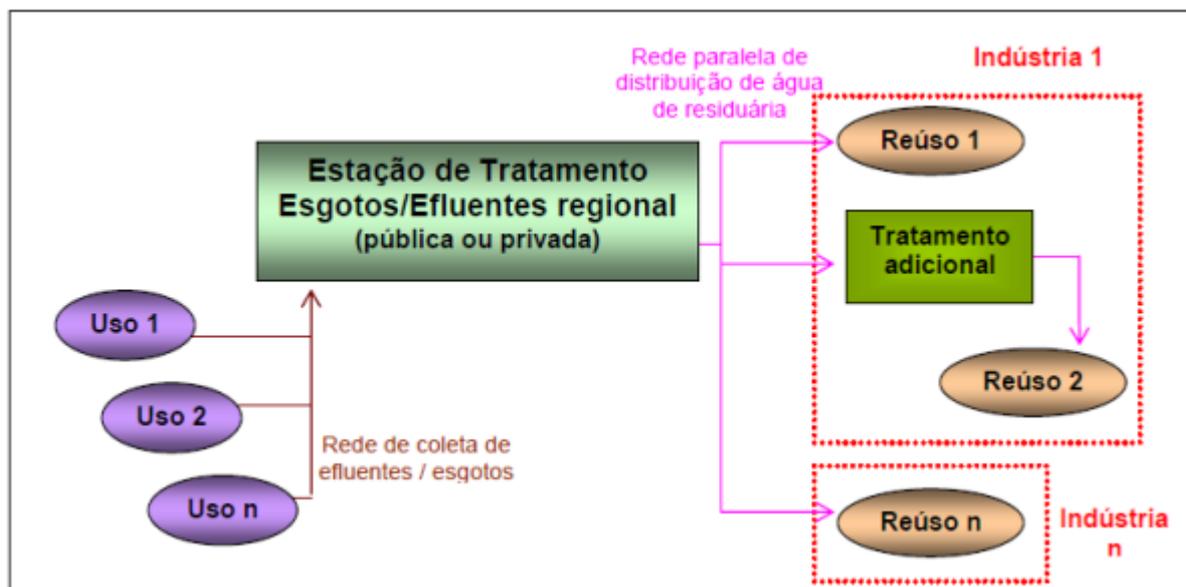


Figura 1 - Reúso industrial macro externo
Fonte: (RODRIGUES, 2005).

Os custos elevados da água industrial associados às demandas crescentes, têm levado as indústrias a avaliar a possibilidade de considerar ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável dos sistemas públicos de abastecimento (HESPANHOL, 2002).

A proximidade de estações de tratamento de esgotos (ETE's) às áreas de grande concentração industrial contribui para a viabilização de programas de reúso industrial, uma

vez que permite adutoras e custos unitários de tratamento menores (HESPANHOL, 2002).

No entanto, a facilidade na implementação do reúso macro externo, está relacionada com a existência de uma rede paralela para o abastecimento das indústrias. A construção de estações de tratamento de efluentes nas proximidades de zonas industriais, ou ao contrário, o incentivo para a instalação de zonas industriais nas proximidades de estações já existentes, são ações fundamentais para viabilizar a implementação dos projetos de abastecimento com efluente tratado, tendo em vista a redução de custos para a construção de uma rede desde a estação de tratamento, até o polo industrial (RODRIGUES, 2005).

Dentre as várias fases do processo produtivo em que existem possibilidades de reúso de efluentes de ETE's, os sistemas de resfriamento se constituem em um local de grande potencialidade, pois, independentemente do tipo de produto a ser manufaturado, a qualidade da água requerida para o resfriamento é a mesma, ou seja, o processo de adequação do efluente ao uso seria o mesmo para todas as indústrias (NUNES, 2006).

Os sistemas de tratamento para reúso em unidades de refrigeração semiabertos, por exemplo, são relativamente simples, devendo produzir efluentes capazes de evitar corrosão ou formação de depósitos, crescimento de microrganismos, formação excessiva de espuma e deslignificação de torres de resfriamento, construídas em madeira (HESPANHOL, 2002).

5.2 Reúso Macro interno

O reúso dentro da própria indústria pode ser feito em cascata ou com efluentes tratados:

- Reúso em cascata (FIG.2) - nesta modalidade, o efluente gerado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado, sem tratamento, em outro subsequente, pois o efluente gerado atende aos requisitos de qualidade da água exigidos pelo processo subsequente. Processo indicado quando ocorre a variação da concentração dos contaminantes no efluente com o tempo. Esta situação é comum em operações de lavagem com alimentação de água e descarte do efluente de forma contínua (SILVA-FILHO, 2009).
- Reúso de efluentes tratados (FIG.3) - esta é a forma de reúso que tem sido mais utilizada na indústria. Consiste na utilização de efluentes gerados localmente, após tratamento adequado para a obtenção da qualidade necessária aos usos preestabelecidos. Na avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados, deve ser considerada a elevação da concentração de contaminantes que não são eliminados pelas técnicas de tratamento empregadas (SILVA-FILHO, 2009).

5.2.1 Reúso em cascata

Para que seja avaliado o potencial de reúso de água em cascata é necessário que se disponha dos dados referentes às características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade de água no processo no qual se pretende fazer o reúso (FIESP, 2004).

Como parâmetros indicadores, pode-se utilizar a condutividade elétrica ou a concentração de sais dissolvidos totais, que representam, com segurança, os compostos inorgânicos e a medida da demanda química de oxigênio, que pode ser utilizada para representar as substâncias orgânicas. Além destes, a medida do pH, turbidez e cor também podem ser úteis no estágio inicial para a avaliação do potencial de reúso (FIESP, 2004).

Tão importante quanto a identificação do efluente com potencial para reúso é a identificação da atividade na qual o reúso em cascata será aplicado, devendo haver uma relação direta entre a quantidade e qualidade do efluente disponível, com a demanda e padrões de qualidade exigidos para a aplicação identificada (FIESP, 2004).

Em algumas situações, a substituição total da fonte de abastecimento de água por efluentes pode não ser viável, podendo-se, nestas situações, utilizar os métodos de reúso parcial de

efluentes e mistura do efluente com água do sistema de abastecimento (FIESP, 2004):

- O **reúso parcial de efluentes** consiste na utilização de apenas uma parcela do efluente gerado para reúso. Este procedimento é indicado quando, no processo de geração de efluentes, a concentração do contaminante varia com o tempo, ou seja, a sua concentração diminui à medida que o processo se desenvolve. Esta situação é comum nas operações periódicas de lavagem, nas quais há alimentação de água e descarte do efluente de forma contínua.
- Em algumas situações, o efluente gerado em um processo qualquer pode apresentar características bastante próximas dos requisitos de qualidade da água exigidos para uma determinada aplicação, mas que ainda não são suficientes para possibilitar o reúso, ou então, a quantidade de efluente não é suficiente para atender à demanda exigida. Para estas condições pode-se promover a **mistura do efluente gerado com a água** proveniente do sistema de abastecimento, de maneira a adequar as características do efluente aos requisitos do processo.

Qualquer que seja o método de reúso em cascata utilizado é necessário que seja feito o acompanhamento do desempenho da atividade na qual a água de reúso está sendo utilizada, de maneira a consolidar ou efetuar ajustes no processo e assim garantir o sucesso do programa de reúso (FIESP, 2004).

Em todos os casos se recomenda a realização de ensaios de bancada e piloto, antes da implantação de toda a infraestrutura que viabilize a prática do reúso em cascata. Verificada a viabilidade técnica de aplicação do reúso em cascata deverão ser efetuadas as alterações nos procedimentos de coleta, armazenagem e transporte dos efluentes, visando a sua implantação (FIESP, 2004).

Para aumentar a confiabilidade do sistema de reúso em cascata, principalmente quando as características do efluente podem sofrer variações significativas, recomenda-se a utilização de sistemas automatizados para o controle da qualidade da água de reúso, assim como deve ser prevista a utilização de água do sistema de abastecimento, de maneira a não colocar em risco a atividade desenvolvida (FIESP, 2004).

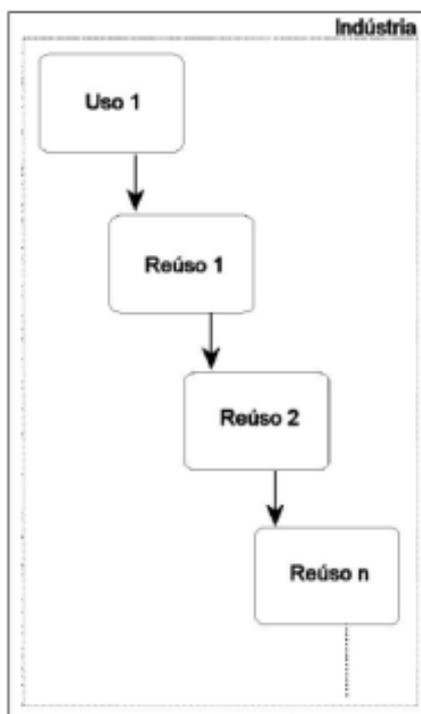


Figura 2 - Reúso industrial macro interno: reúso em cascata.
Fonte: (BARBOSA, 2009)

5.2.2 Reúso de Efluentes Tratados

Geralmente, a prática do reúso só poderá ser aplicada caso as características do efluente disponível sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos pela aplicação na qual se pretende usar o efluente como fonte de abastecimento. Isto implica na necessidade de identificar as demandas potenciais para o efluente disponível (FIESP, 2004).

Para a prática de reúso de efluentes tratados é necessária uma avaliação das características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade exigidos para a aplicação que se pretende, podendo, então, o efluente ser encaminhado, nas condições em que se encontra, da estação de tratamento até o ponto em que será utilizado (FIESP, 2004).

A identificação das possíveis aplicações para o efluente pode ser feita por meio da comparação entre parâmetros genéricos de qualidade, exigidos pela aplicação na qual se pretende fazer o reúso, assim como os parâmetros do próprio efluente (FIESP, 2004).

Dentre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de sais dissolvidos totais (SDT) pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de SDT ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, mais comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante (FIESP, 2004).

Em alguns casos poderá ser necessário desenvolver um programa de reúso de efluentes que considere a utilização de sistemas complementares de tratamento, cujo principal objetivo é possibilitar a redução da concentração de um contaminante específico. Nesta situação, em função da eficiência de remoção do contaminante de interesse, o potencial de reúso pode ser ampliado uma vez que é possível obter um efluente final que atenda aos requisitos de qualidade de outras atividades (FIESP, 2004).



Figura 3 - Reúso industrial macro interno: reúso de efluentes tratados
Fonte: (BARBOSA, 2009)

6 TECNOLOGIAS E TRATAMENTOS UTILIZADOS VISANDO O REÚSO DE EFLUENTES

Os tipos de tratamentos mais usuais empregados quando se tem como objetivo o reúso da água são: adsorção em carvão ativado; oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio; coagulação/floculação; separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa); troca iônica; destilação e precipitação (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

A escolha de uma ou a combinação entre duas ou mais técnicas sempre dependerá do potencial de cada tecnologia envolvida na redução do contaminante de interesse e da qualidade da água de reúso que se necessita (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

É importante observar também que a técnica ou técnicas de tratamento a serem utilizadas para a obtenção de água com um determinado grau de qualidade depende dos compostos que se deseja remover da água sendo que, quanto maior o grau de pureza desejado para a água, mais complexo se torna o sistema de tratamento (MIERZWA, 2002).

6.1 Adsorção em carvão ativado

O termo carvão ativado refere-se a qualquer forma de carvão amorfo que tenha sido tratado para produzir um material com alta capacidade de adsorção. As matérias primas típicas para produzir o carvão ativado incluem o carvão mineral, madeira, casca de coco, resíduos da produção do papel e resíduos a base de petróleo (MIERZWA, 2002).

O processo de adsorção ocorre quando uma molécula, geralmente do contaminante que se deseja remover, atinge a superfície do carvão e é mantida nesta superfície devido à ação de forças físicas e/ou químicas (MIERZWA, 2002).

Tanto o carvão na forma de pó ou o granulado podem ser utilizados para o tratamento de efluentes. O carvão na forma de pó encontra aplicação limitada, sendo utilizado apenas em situações atípicas, devido a problemas de odores ou para a remoção de contaminantes que não sejam característicos da instalação. Já o carvão na forma granular é o que encontra maior aplicação, sendo principalmente utilizado em colunas estacionárias, através da qual o efluente a ser tratado flui para que os contaminantes sejam removidos (MIERZWA, 2002).

Deve-se considerar que a presença de sólidos em suspensão no efluente a ser tratado afeta, de forma negativa, o desempenho do processo, seja devido à elevação da perda de carga no leito de carvão, pois este acaba funcionando como um filtro, seja pelo entupimento dos poros do carvão, o que resulta na perda de capacidade de retenção dos contaminantes, consideração que também é válida para óleos e graxas (MIERZWA, 2002).

Além destas características deve-se considerar, ainda, que os sistemas de tratamento apresentam uma capacidade limitada para a retenção dos contaminantes, sendo que esta capacidade está diretamente associada com a quantidade de carvão presente nos leitos, o que implica na substituição periódica do carvão. Tendo em vista que pelo processo de adsorção não ocorre a destruição do contaminante, o carvão exaurido deverá ser gerenciado de forma adequada, para que os contaminantes presentes não venham a degradar o solo ou a água (MIERZWA, 2002).

Considerando-se todos os fatores que podem influenciar na eficiência do processo de adsorção, é recomendado que a implantação de sistemas de tratamento que irão utilizar esta técnica sejam baseados em ensaios de laboratório e em escala piloto (MIERZWA, 2002).

6.2 Oxidação ou redução química

As reações de oxidação–redução química são aquelas nas quais o estado de oxidação de pelo menos um dos reagentes envolvidos é elevado enquanto o estado de oxidação do

outro reagente é reduzido (MIERZWA, 2002).

A principal função dos processos de oxidação-redução é diminuir a toxicidade de uma determinada corrente líquida, podendo ser utilizados para compostos orgânicos, metais e alguns compostos inorgânicos (MIERZWA, 2002). Para o processo de oxidação existem vários compostos com potencial para serem utilizados, contudo, somente alguns são adequados para uso. No Quadro 1 são apresentados os agentes oxidantes mais utilizados para o tratamento de efluentes:

Oxidante	Reação Parcial	Potencial de Oxidação Eo (Volts).
Flúor	$F_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 HF (aq)$	3,060
Ozônio	$O_3 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow O_2 + H_2O$	2,070
Peróxido de Hidrogênio	$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 H_2O$	1,770
Permanganato	$MnO_4^- + 4 H^+ + 2 e^- \Rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1,695
Cloro	$Cl_2 + 2 e^- \Rightarrow 2 Cl^-$	1,359
Dicromato	$Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 6 e^- \Rightarrow 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$	1,330

Quadro 1 - Principais agentes oxidantes utilizados para o tratamento de efluentes
Fonte: (MIERZWA, 2002)

Nos processos de oxidação e redução, além de se escolher o composto químico mais adequado, outros fatores podem ter influência sobre a eficiência do tratamento, como por exemplo: dosagem do composto, já que em muitos casos deve-se adicionar um excesso em relação à quantidade estequiométrica; dispersão do reagente na massa líquida; pH e temperatura de operação, e em alguns casos a necessidade de utilização de catalisadores (MIERZWA, 2002).

Estes processos apresentam como vantagem o fato de serem simples, os equipamentos e reagentes necessários estão disponíveis no mercado e o custo de implantação e operação podem ser baixos, além do fato de poderem ser operados de forma contínua ou em batelada (MIERZWA, 2002).

As principais desvantagens incluem a dificuldade de implantação dos sistemas de tratamento, já que os mesmos devem ser especificamente projetados para cada aplicação, devendo-se realizar testes de laboratório e em escala piloto antes de se implantar o sistema; os compostos químicos utilizados são frequentemente perigosos; possibilidade de ocorrer a geração de subprodutos perigosos (MIERZWA, 2002).

6.3 Coagulação/Floculação

O processo de coagulação tem como principal objetivo neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, normalmente negativas, por meio da adição de compostos químicos com cargas positivas, como sais de ferro, sais de alumínio e polímeros, proporcionando a formação de flocos densos em condições de decantar (SILVA-FILHO, 2009).

A coagulação é conduzida em câmaras de mistura rápida, que visam a homogeneização dos coagulantes e seus auxiliares. Esta mistura intensa é que assegura uma distribuição uniforme do coagulante na água, colocando-o em contato com as partículas existentes em suspensão, antes que a reação esteja terminada. A inexistência dessa mistura intensa e adequada implica em que parte da água seja super tratada, enquanto que outras partes sejam insuficientemente tratadas, prejudicando o tratamento (SILVAFILHO, 2009).

Na maior parte das aplicações, o principal objetivo é o de se produzir um efluente clarificado, ou seja, com baixas concentrações de sólidos em suspensão. Na sedimentação floculenta, as partículas se aglomeram, formando flocos, que tendem a crescer de tamanho à medida que sedimentam. Com o aumento do tamanho das partículas (flocos), aumenta a velocidade de sedimentação. Como a floculação ocorre à medida que as partículas precipitam, quanto maior o contato entre elas, maior será a formação dos flocos (SILVA-FILHO, 2009).

Para se ter uma boa coagulação, deve-se determinar o pH adequado, no qual este processo ocorre no menor tempo possível e com uma dosagem mínima de coagulante. Produtos químicos como cal hidratada, carbonato de cálcio, carbonato de sódio, hidróxido de sódio, gás carbônico, ácido clorídrico e sulfúrico são empregados para o ajuste do pH (SILVA-FILHO, 2009).

A alcalinidade também possui importância nos tratamentos químicos de água e efluentes. Quando a água não possui alcalinidade ideal para a coagulação, costuma-se adicionar álcalis como a cal virgem (CaO), cal hidratada (Ca(OH)₂) e barrilha (Na₂CO₃) para promovê-la e mantê-la nos valores ideais (SILVA-FILHO, 2009).

O fenômeno da floculação é o processo pelo qual as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si. Este movimento provoca a formação de flocos que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se pesados, para posterior separação nas unidades de decantação e filtração (SILVA-FILHO, 2009).

Em termos práticos, o mais importante no processo de coagulação e floculação são a dosagem e a condição ótima para aplicação do coagulante, etapa de grande importância no tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem desta. Isso porque as reações envolvidas são muito rápidas e dependem da energia de agitação, da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água. Caso estas condições estejam corretas, as reações ocorrem em um espaço de tempo bastante reduzido (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

6.4 Separação por membranas

O processo de separação por membranas (SPM) se baseia em mecanismos físicos, isto é, não envolvendo processos químicos, biológicos ou trocas térmicas. Refere-se, apenas, a separação dos componentes de uma mistura pela rejeição daqueles que não possuem tamanho para atravessar os poros da membrana e a eficiência deste tipo de filtração depende inteiramente da diferença de tamanho entre o poro e a partícula a ser removida (JUNIOR, 2006).

A aplicação de processos com membranas tem sido motivada pelas vantagens que os mesmos apresentam em relação às operações clássicas. As principais vantagens são que esses processos geralmente são atérmicos, não envolvem mudança de fase, não necessitam de aditivos químicos, são simples em conceito e operação, são modulares e apresentam facilidade para realização de ampliação de escala, necessitam de baixo consumo de energia, apresentam um uso racional de matérias primas e recuperação de subprodutos (BRUM et al., 2009).

As principais limitações da tecnologia de membranas são a fragilidade das membranas e a deposição de substâncias na sua superfície. O uso de pressões elevadas, como no caso da osmose inversa, as paradas para limpezas e as limitações práticas do nível máximo de concentração a ser atingido também podem ser citados como desvantagens do processo (BRUM et al., 2009).

Os processos de separação por membranas incluem a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF) a osmose reversa (OR), a diálise (DI) e a eletrodialise (ED) (JUNIOR, 2006). As características gerais dos principais processos de separação por membranas, são relacionadas no Quadro 2.

Tipo de Processo	Força atuante na membrana	Tipo de Mecanismo de separação	Estrutura de operação (tam. poro)	Faixa típica de operação (μm)	Descrição do permeado	Tipos de elementos removidos
Microfiltração	Diferença de pressão hidrostática ou vácuo	Filtro	Macroporos (>50nm)	0.08 – 2.0	Água + solutos dissolvidos	SST, Turbidez, protozoários, oócitos, cistos, algumas bactérias e vírus.
Ultrafiltração	Diferença de pressão hidrostática	Filtro	Mesoporos (2-50nm)	0.005 – 0.2	Água + pequenas moléculas	Macromoléculas, colóides, a maioria das bactérias e alguns vírus, proteínas
Nanofiltração	Diferença de pressão hidrostática	Filtro + Dissolução, difusão + exclusão ou separação	Microporos (<2nm)	0.001 – 0.01	Água + pequenas moléculas, íons dissolvidos	Pequenas moléculas, dureza e vírus.
Osiose Reversa	Diferença de pressão hidrostática	Dissolução, difusão + exclusão ou separação	Denso/ opaco (<2nm)	0.0001 – 0.001	Água , pequenas moléculas, íons dissolvidos	Moléculas muito pequenas, cor, dureza, sulfatos, nitratos, sódio, outros íons.
Diálise	Diferença de concentração	Difusão	Mesoporos (2-50nm)	--	Água + pequenas moléculas	Macromoléculas, colóides, a maioria das bactérias e alguns vírus, proteínas.
Eletrodiálise	Força eletromotriz	Troca iônica com seleção de membranas	Microporos (<2nm)	--	Água + íons dissolvidos	Íons de sais ionizados.

Quadro 2 - Características gerais dos processos de membranas
Fonte: (JUNIOR, 2006)

6.5 Processo de troca iônica

Processo de remoção praticamente total dos íons presentes em uma água, através de resinas catiônicas e aniônicas. Como a desmineralização da água consiste na remoção dos íons nela presente, o processo é também chamado de deionização (MORELLI, 2005).

Existem vários tipos de resinas e a seleção do tipo está relacionada com as características do íon que se deseja eliminar da água ou efluente e cada uma apresenta peculiaridades no processo de regeneração. Segundo Mierzwa; Hespanhol (2005) as mais utilizadas são:

- Resina Catiônica fortemente ácida (CFA). Estes tipos de resina são adequados para o tratamento de águas para uso industrial quando é necessária a remoção de dureza (cálcio e magnésio) e desmineralização. As resinas CFA apresentam uma estrutura química formada pelo estireno e divinilbenzeno. Seus principais grupos funcionais são os radicais sulfônicos ($\text{R}\cdot\text{SO}_3\text{H}^+$). Elas são apropriadas para trabalhar em meio ácido ou básico.
- Resina catiônica fracamente ácida (CfA). Estes tipos de resina são adequadas para o tratamento de águas para uso industrial quando é necessário a remoção de elevada dureza devida exclusivamente ao bicarbonato e carbonato de cálcio e valores de pH variando de neutro a alcalino. As resinas CfA, apresentam como principal grupo funcional o carboxilato (RCOOH) e por isso não atua na remoção de cátions oriundos de sais derivados de ácidos fortes.
- Resina aniônica fortemente básica (AFB). São muito utilizadas para o tratamento de águas e efluentes que possuem sílica. Seu grupo químico funcional é uma amina

quaternária $[R\cdot N(CH_3)_3^+]$. Este grupo funcional é tão básico que é facilmente ionizado, sendo capaz de trocar íons numa faixa de pH variando de 1 a 13. Estas resinas podem ser condicionadas na forma de OH^- ou Cl^- , os quais são liberados após o tratamento da água. Existem dois tipos de resinas AFB, na realidade são subgrupos, denominados resina AFB tipo I e resina AFB tipo II, onde a tipo I apresenta uma basicidade maior do que a tipo II, sendo mais vantajosa na remoção da sílica.

- Resina aniônica fracamente básica (AfB). São muito utilizadas para o tratamento de águas e efluentes que precisam remover primeiramente os ânions de ácido forte como o cloreto, sulfato e nitrato e não removem sílica e bicarbonatos.

O principal aspecto a ser avaliado na escolha das resinas e dimensionamento do sistema de operação é a seletividade das resinas e a facilidade ou afinidade destas pela troca de íons. A seletividade deve ser baseada na ordem de preferência das resinas pelos íons dissolvidos no efluente e que precisam ser eliminados. Todas estas informações podem ser adquiridas com os fabricantes de resinas (SANTOS, 2006).

6.6 Destilação

O processo de destilação consiste em aplicar calor a uma mistura de líquidos e posterior remoção do calor da fase vaporizada, sendo que o líquido condensado recebe o nome de destilado e está enriquecido com o componente mais volátil, enquanto o produto não vaporizado estará enriquecido com o componente menos volátil (MIERZWA, 2002).

Os principais candidatos para processamento pela técnica de destilação são os efluentes que contenham misturas de compostos orgânicos voláteis, como, por exemplo, mistura entre solventes e misturas de solventes em água e vice-versa (MIERZWA, 2002).

A utilização do processo de destilação apresenta como vantagem, a possibilidade de recuperação de solventes, embora os custos de implantação e operação sejam superiores aos custos associados a processos competitivos, como por exemplo, do processo de extração com ar ou vapor, além de ser considerado um processo complexo para o tratamento de efluentes (MIERZWA, 2002).

6.7 Precipitação química

O processo de precipitação química consiste em converter, algumas ou todas, as substâncias dissolvidas em uma corrente líquida em substâncias insolúveis, por meio da alteração do equilíbrio químico, de forma a alterar a solubilidade das mesmas (MIERZWA, 2002).

A alteração do equilíbrio químico das espécies que se deseja remover pode ser obtida por um, ou uma combinação entre os seguintes procedimentos (MIERZWA, 2002):

- Adição de uma substância que reage quimicamente com a substância em solução, formando um composto insolúvel.
- Adição de uma substância que irá alterar o equilíbrio de solubilidade de forma a não mais favorecer a permanência dessa substância em solução;
- Adição de compostos que irão reagir entre si formando um precipitado, o qual irá arrastar ou adsorver a substância a ser removida (co-precipitação).
- Alteração da temperatura de uma solução saturada, ou próxima à saturação, no sentido de diminuir a solubilidade da substância presente.

As reações de precipitação mais comuns envolvem a remoção de espécies iônicas inorgânicas de vários meios aquosos, principalmente a remoção de íons metálicos. Contudo, em alguns casos o processo de precipitação química também pode ser utilizado para a remoção de alguns compostos orgânicos (MIERZWA, 2002).

Após o processo de precipitação os sólidos formados deverão ser separados da massa líquida, o que é efetuado por um processo complementar, como o de coagulação, floculação e sedimentação, ou ainda, pelo processo de filtração. Após o processo de separação dos sólidos, o efluente tratado também pode requerer a utilização de um processo adicional de tratamento como, por exemplo, a neutralização já que, na maioria dos casos, durante o processo de precipitação o pH do efluente deve ser elevado para valores acima de 9. (MIERZWA, 2002).

7 CUIDADOS NO REÚSO DA ÁGUA

A água como solvente universal incorpora vários elementos, sendo dificilmente encontrada pura na natureza. No caso de efluentes industriais, onde as concentrações de contaminantes são geralmente altas, é necessário, na maioria das vezes, um tratamento com tecnologia avançada para adequar o efluente ao uso (NUNES, 2006).

No entanto, é importante observar que a elevação da concentração de contaminantes específicos é uma condição que limita o potencial de reúso e caso ela não seja devidamente considerada, poderá comprometer o desenvolvimento das atividades nas quais a água de reúso será aplicada (NUNES, 2006).

Esse tipo de preocupação é relevante, por que à medida que a demanda de água e a geração de efluentes são reduzidas, ocorre uma elevação na concentração de contaminantes no efluente remanescente, uma vez que a carga de contaminantes não se altera (NUNES, 2006).

Independente da possibilidade de utilização de água com padrões de qualidade pouco restritivos, atualmente, com o objetivo de proteger os equipamentos e economizar recursos, as indústrias estão procurando trabalhar com água tratada (MIERZWA, 2002).

A justificativa para isto está diretamente associada aos problemas que podem ocorrer devido à utilização de águas com um grau de qualidade inadequado, conforme ilustra a Figura 4.

Nas torres de resfriamento industrial, por exemplo, são registrados a ocorrência de vários problemas de degradação dos equipamentos que utilizam a água de pós-tratamento. Dentre esses problemas os quatro mais frequentes são segundo Nunes (2006):

- **Incrustações:** são depósitos salinos decorrentes da precipitação de sais quando sua concentração ultrapassa o limite da solubilidade. O cálcio em forma de carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, ou fosfato de cálcio é o principal agente causador. As incrustações reduzem a eficiência das trocas de calor porque funcionam como um isolante térmico;
- **Corrosão metálica:** ocorre em materiais metálicos em contato com a água constituída de impurezas como sais ou gases dissolvidos, sólidos em suspensão e crescimento biológico. Quanto maior é a condutividade elétrica da água, maior será a velocidade de corrosão. Seu tratamento básico consiste na aplicação de inibidores de corrosão, dispersantes e biocidas;
- **Crescimento biológico:** o ambiente úmido e morno, aliado aos nutrientes orgânicos presentes nos efluentes tratados principalmente o nitrogênio e fósforo, favorece o crescimento de microrganismos como algas, fungos e bactérias que se instalam na superfície diminuindo ou bloqueando o fluxo da água. Utilizam-se elementos químicos tóxicos (biocidas e biostáticos) para se evitar ou controlar o crescimento biológico desses microrganismos;
- **Formação de *fouling*:** é caracterizado pelo acúmulo na superfície da água de material orgânico ou inorgânico (oriundo de crescimento biológico), sólidos suspensos, lodo, produtos de corrosão e elementos inorgânicos. Controla-se o problema com a adição de dispersantes químicos para evitar a formação das partículas ou através da

remoção por processos de filtração, principalmente do fósforo que reduz a concentração de contaminantes.



Figura 4 - Problemas associados à qualidade da água para uso industrial – (1) Corrosão alveolar em tubulação do sistema de refrigeração; (2) Incrustação em tubulação de sistema de refrigeração; (3) Corrosão devido à presença de gás carbônico em caldeira; (4) Depósito de lama orgânica em trocador de calor e (5) Depósito de partículas de ferro em resinas de troca iônica.

Fonte: (MIERZWA, 2002)

8 LEGISLAÇÃO

No Brasil o reúso planejado é uma prática bastante recente. De acordo com o banco de dados de dissertações e teses da USP (Universidade de São Paulo), os primeiros trabalhos sobre o assunto são do fim da década de 90. A partir destes, as pesquisas se intensificaram, mas não foram definidos, até o momento, padrões específicos para o reúso da água (SILVA FILHO, 2009).

Segundo Kreutz (2006) a prática do reúso de água deve estar referenciada e adequada às condições e parâmetros normativos de qualidade devidamente regulamentados, ou seja, que tenham base legal, a fim de garantir a proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Sendo assim, Rodrigues (2005), afirma que o objetivo da implementação destes regulamentos e critérios legais, são assegurar o estabelecimento de limites associados a determinadas práticas de reúso, visando maximizar seus efeitos benéficos.

Atualmente, no Brasil, o único diploma legal que trata especificamente do reúso é a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54 de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (SILVA-FILHO, 2009). No artigo 3º desta resolução são definidas cinco modalidades de reúso de água: o reúso para fins urbanos, para fins agrícolas e florestais, para fins ambientais, para fins industriais e na aquicultura.

No entanto, de acordo com HESPANHOL et al. (2006), a norma técnica NBR-13.969 de 1997 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – foi a primeira regulamentação que tratou de reúso de água no Brasil. Essa norma aborda o reúso de esgotos domésticos tratados para fins que exigem qualidade de água não potável. Quatro classes de água de reúso e seus respectivos padrões de qualidade foram definidos na norma e são apresentados no Quadro 3.

A Lei 9.433 de 1997 cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece, dentre outros instrumentos de gerenciamento, a cobrança pelo uso da água.

Segundo Barbosa (2009), um dos objetivos da cobrança pelo uso da água é incentivar o seu uso racional, que pode considerar medidas de redução do consumo por meio de melhorias no processo e pela prática de reúso. O usuário que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação, e lançamento e conseqüentemente tem sua cobrança reduzida. Assim quanto maior for o reúso, menor será a utilização de água e menor será a cobrança.

Segundo Rodrigues (2005), as especificações locais é que devem reger a implementação do reúso, e de que forma este deve estar inserido naquela realidade, seguindo alguns padrões, como o conhecimento dos riscos associados às práticas; o tratamento dos efluentes, bem como sua eficiência e segurança; a disponibilidade e características dos efluentes; experiência na promoção do reúso, que fornece subsídios para os estudos epidemiológicos; valores culturais; condições ambientais; condições econômicas e tecnológicas, entre outros.

Ainda de acordo com RODRIGUES (2005), em função da variabilidade de processos existentes e dos requisitos específicos de qualidade e ainda de acordo com o fim desejado, o reúso da água nas indústrias deve ser tratado particularmente e deve ser considerado um tipo a parte, pois as condições em que ocorre são bastante específicas, devendo ser considerado cada caso.

Água de Reúso	Aplicações	Padrões de Qualidade
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 mL Sólidos Dissolvidos Totais < 200 mg/L pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 mg/L a 1,5 mg/L
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas em vasos sanitários.	Turbidez < 10 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliformes Termotolerantes < 5000 NMP/100 mL Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L

Quadro 3 - Classes de água de reúso pela NBR-13.969 e padrões de qualidade
Fonte: (ABNT, 2007)

9 INSTITUIÇÕES DE APOIO AO REÚSO DA ÁGUA NO BRASIL

9.1 Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA)

No Brasil, o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA) foi criado com o objetivo de promover e disponibilizar recursos técnicos e humanos para estimular a implementação de práticas conservacionistas e do reúso da água. O CIRRA tem como funções básicas: desenvolver pesquisas e tecnologias adequadas; proporcionar treinamento

e divulgar informações visando à promoção, a institucionalização e a regulamentação da prática de reúso no país.

O CIRRA ainda desenvolve outras atividades ligadas a cursos e programas de treinamento direcionados a temas específicos, como práticas de reúso, aplicação de ferramentas de gestão ambiental, otimização de processos industriais, operação de sistemas de tratamento avançado, educação ambiental, e estudos de tratabilidade de efluentes, entre outros.

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA (CIRRA)

Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária

Tel.: (11) 3039-3273

E-mail: cirra@usp.br

Site: <<http://biton.uspnet.usp.br/cirra>>

9.2 Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Afluentes (LABTARE)

O LABTARE está vinculado ao Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química, possui cerca 100 m² destinados a pesquisas na área ambiental voltadas para o tratamento de águas, efluentes industriais e urbanos.

LABTARE

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia - Escola de Química

Tel.: (21) 2562-7346

Site: <<http://www.eq.ufri.br/labtare/>>

Conclusões e recomendações

A escassez de água é um tema cada vez mais real nos grandes centros urbanos e industrializados, uma condição que coloca em risco as metas de desenvolvimento regional e do país. Desta maneira, fazer o melhor uso dos recursos naturais disponíveis, principalmente da água, é condição essencial para se atingir os níveis de desenvolvimento desejados (HESPANHOL et al., 2006).

Para a obtenção dos máximos benefícios, a adoção da prática do reúso da água em uma indústria deve ser implementada a partir de uma análise sistêmica das atividades onde a água é utilizada e, naquelas onde ocorre a geração de efluentes, com intuito de otimizar o consumo e minimizar a geração de efluentes. As ações devem seguir uma sequência lógica, com atuação inicial na demanda de água e, em seguida, na oferta, destacando-se a avaliação do potencial de reúso de efluentes em substituição às fontes tradicionais de abastecimento (FIESP, 2004).

É importante enfatizar que a prática do reúso da água na indústria requer uma análise específica, realizada por profissionais devidamente capacitados, para garantia dos resultados técnicos, econômicos e ambientais da implantação de programas dessa natureza e para preservar a saúde dos usuários, o desempenho dos processos, a vida útil dos equipamentos e o meio ambiente (FIESP, 2004).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.969:1997**. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 60 p., 1997.

BARBOSA, I. **Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reúso em um centro comercial**. 2009. 109f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 9 jan.1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 1 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 09 mar. 2006. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

BRUM, L.; SANTOS JÚNIOR, L.; BENEDETTI, S. Reaproveitamento de água de processo e resíduos da indústria de laticínios. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/5/L.%20F.%20W.%20Brum%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Conservação e reúso da água**: manual de orientações para o setor industrial. v. 1. 2004. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4418756/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20e%20Re%C3%BAso%20FIESP.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

FÉRIS, L. A. Tratamento eficiente de efluentes e reúso da água na indústria: uma meta a ser atingida. **Revista do CREA/RS**, p. 44, 2008.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

HESPANHOL, I., MIERZWA, J., RODRIGUES, L.; SILVA, M. **Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria**. Rio de Janeiro: Federação das Indústrias do Rio de Janeiro - FIRJAN/SEBRAE, 2006. Disponível em: <<https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais4.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

JUNIOR, A. **Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica**. 2006. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/7838?show=full>>. Acesso em: 1 maio 2022.

KREUTZ, C. **Avaliação do consumo e das potencialidades de reúso da água de processo em uma agroindústria de vegetais**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006. Disponível em: <<https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2849/1/Cristiane%20Kreutz.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

MIERZWA, J. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria**: estudo de caso da Kodak brasileira. 2002. 367f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14112002-203535/publico/TeseJCM.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

MIERZWA, J.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria**: uso racional e reúso. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144p.

MORELLI, E. **Reúso de água na lavagem de veículos**. 2005. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-29072005-140604/publico/DissertacaoEduardoBronzattiMorelli.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

NUNES, R. **Conservação da água em edifícios comerciais**: potencial de uso racional e reúso em shopping Center. 2006. 144f. Dissertação (Mestrado em Ciências em planejamento estratégico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rtsnunes.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

RODRIGUES, R. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil**: proposta de regulamentação do reúso no Brasil. 2005. 189f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03112005-121928/publico/dissertacao_raquelrodrigues_regulamentacaoreuso.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

SANTOS, M. **Estudo preliminar da avaliação técnica de metodologias de tratamento terciário do efluente tratado gerado na ETE da Cetrel para reúso em atividades industriais**. 2006. 136f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. Disponível em: <<https://engenharia-ambiental.webnode.com/files/200000489-ad7aaae749/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado%20de%20Maiza%20Ferreira%20Santos-UFBA-2006.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2022.

SILVA FILHO, A. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando ao reúso**: um estudo de caso. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, B. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reúso de efluentes de refinaria de petróleo**. 2010. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/2010-1/130-avaliacao-de-processos-oxidativos-avancados-acoplados-com-carvao-ativado-granulado-com-biofilme-para-reuso-de-efluentes-de-refinaria-de-petroleo/file>>. Acesso em: 1 maio 2022.

Identificação do Especialista

Lucas Gomes Rocha – Biólogo, Mestre em Ecologia





Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

www.respostatecnica.org.br