



Atuação Responsável®
Compromisso com a sustentabilidade

MANUAL DE GESTÃO EFICIENTE DE RECURSOS HÍDRICOS



QUÍMICA PRESENTE NA CONSTRUÇÃO DO FUTURO.

	ABIQUIM. Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água).
M251	Manual de gestão eficiente de recursos hídricos / Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água). – São Paulo : ABIQUIM, 2016. il. ; PDF ISBN: 978-85-85493-46-2 1. Recursos hídricos – Desenvolvimento. 2. Água – Uso. 3. Águas residuais – Purificação. 4. Água – Conservação. 5. Gestão ambiental. I – Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM.
	CDU 556.51

Copyright © 2016 ABIQUIM. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma ou meio, inclusive eletrônico, sem prévia autorização escrita da ABIQUIM.

Copyright © 2016 by ABIQUIM All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form or transmitted by any means, including electronic, without prior written permission of ABIQUIM.

AGRADECIMENTOS

Especiais agradecimentos aos integrantes do Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água), da Comissão de Meio Ambiente da Abiquim, que se empenharam na elaboração do conteúdo deste Manual:

Aline Caldas Bressan – ABIQUIM
Carlos Barbeiro – CABOT
Carolina Riedo Sartori Almeida – NITRO QUÍMICA
Fábio Pereira de Carvalho – DOW BRASIL
Mariana Sigrist – BASF
Mauro Machado Júnior – BRASKEM
Wagner Freitas – SOLVAY INDUPA

Agradecimentos também aos integrantes da Comissão Setorial de Saneamento e Tratamento de Água da Abiquim, que contribuíram com conteúdo:

Carolina Ponce de León – ABIQUIM
Hilton Carvalho da Silva – UNIPAR CARBOCLORO
José Eduardo Gobbi – ECOLAB
Lucas Barbosa – PERÓXIDOS DO BRASIL

E também aos revisores do conteúdo final:

Aline Caldas Bressan – ABIQUIM
Júlia Bertucci – DOW BRASIL
Maria Luiza Couto – RHODIA SOLVAY GROUP
Wagner Freitas – SOLVAY INDUPA

SUMÁRIO

Resumo	8
Prefácio Abiquim	9
1 Sobre a Abiquim e sobre o GT Água	10
1.1 Representatividade da indústria química	10
2 Recursos hídricos – Cenário e tendências	11
2.1 Demanda por recursos hídricos	13
2.2 Desempenho da indústria química	14
3 Interferências na disponibilidade hídrica	15
3.1 Mudanças climáticas e desmatamento	15
3.2 Qualidade das águas	15
4 Segurança hídrica	16
5 Importância da gestão eficiente de recursos hídricos	16
6 Reúso de água na indústria	17
6.1 Avaliação de viabilidade técnica e econômica	17
6.2 Mapeamento de correntes hídricas	18
7 Reúso de água na indústria química	19
7.1 Água industrial de reúso	19
7.2 Quando implementar um projeto de reúso industrial de água	19
7.3 Avaliação de risco de escassez hídrica	20
7.4 Onde a água industrial de reúso pode ser usada	20
7.5 Autorizações para utilização de água industrial de reúso	20
7.6 Gestão de riscos	21
7.7 Avaliação do sistema de água industrial de reúso	21
7.8 Medidas preventivas para utilização de água industrial de reúso	21
7.8.1 Controle da fonte geradora	21
7.8.2 Controle de armazenamento	22
7.8.3 Controle de tratamento	22
7.8.4 Controle da qualidade da água de reúso	22
7.8.5 Controle de abastecimento	22
7.8.6 Controle de utilização final	22
7.8.7 Controle dos riscos no local do trabalho	23
7.8.8 Treinamento	23
7.8.9 Sinalização	23
7.8.10 Incidentes e gestão de emergências	23
7.8.11 Documentação e relatórios	23
7.8.12 Revisão e melhoria contínua	23
8 Tecnologias de reúso de água	24

8.1	Processo de coagulação	25
8.2	Processo de floculação	26
8.3	Processo de desinfecção e/ou processos oxidativos	28
8.3.1	Ácido peracético	28
8.3.2	Cloração	28
8.3.3	Dióxido de cloro	29
8.3.4	Ozônio	29
8.3.5	Ultravioleta	29
8.3.6	Processos oxidativos avançados	29
8.4	Processo de filtração	30
8.4.1	Filtração de profundidade	30
8.4.2	Filtração de superfície	31
8.4.3	Filtração lenta	31
8.4.4	Filtração de alta taxa	31
8.4.5	Carvão ativado	31
8.4.6	Membrana	32
8.4.7	Biorreator com membrana	33
8.4.8	Ultrafiltração	33
8.4.9	Nanofiltração e osmose reversa	34
9	Cases da indústria química	35
9.1	Case 1 – Reúso de água e captação de água de chuva	35
9.1.1	Operacionalização	36
9.2	Case 2 – Lavador de gases, efluente do processo de osmose reversa e reúso de água no processo produtivo	37
9.2.1	Reúso de água no processo de lavagem de gases	37
9.2.2	Reúso do efluente descartado do processo de osmose reversa	38
9.2.3	Reúso de água no processo produtivo e transporte interno de produto	38
9.3	Case 3 – Projetos de reúso de água em empresa intensiva em consumo de recursos hídricos	38
9.3.1	Reaproveitamento de <i>mix</i> de água pluvial e efluentes	39
9.3.2	Recuperação de água de condensado	39
9.3.3	Aproveitamento de água de chuva do estacionamento	39
9.3.4	Integração mássica em torres de resfriamento	39
9.3.5	Projeto Ciclo Máximo	40
9.3.6	Redução de consumo	40
9.4	Case 4 – O Programa de Incentivo ao Produtor de Água	41
	Referências bibliográficas	43
	Créditos iconográficos	44

Resumo

A Abiquim, por meio do Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos (GT Água), da Comissão de Meio Ambiente, elaborou este Manual, que tem como objetivo disseminar boas práticas de gestão de recursos hídricos a empresas de pequeno e médio portes, além de contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável. O Manual apresenta informações sobre o cenário da disponibilidade hídrica no Brasil, as demandas de diferentes segmentos pelo recurso e o desempenho da indústria química, além de explicar como uma empresa pode identificar oportunidades de melhoria em sua gestão de recursos hídricos e como sistemas de reúso interno industrial de água podem ser implementados. O Manual também aborda diferentes tecnologias disponíveis para tratamento de água, além de cases de sucesso na gestão de recursos hídricos de indústrias químicas do Brasil.

Prefácio Abiquim

O Brasil é um dos únicos países do mundo que apresenta grande riqueza de biodiversidade e de recursos naturais disponíveis. Dentre eles, a água, essencial a todas as formas de vida, é fonte para diversas demandas da sociedade, seja no consumo da população como na utilização por parte da indústria, e foi sempre considerado um recurso abundante.

Entretanto, não obstante seja cantado em verso e prosa que o Brasil é um país tropical, a grande verdade é que, desde muitas décadas, temos sido castigados severamente pela falta de água, que ocasionou períodos de extrema seca em diversas regiões do País. Na parte mais industrializada do Brasil, em pouco mais de uma década, se repetiu a escassez hídrica, alterando a rotina da população e das empresas de diversos segmentos industriais, que se viram obrigadas a mudar procedimentos diante do cenário que se apresentava.

A indústria química, comprometida com a melhoria contínua de seus processos e produtos, vem trabalhando em soluções para uma gestão mais inteligente dos recursos naturais. A gestão dos recursos hídricos, por exemplo, tem se concentrado em três objetivos principais: reduzir a captação, reduzir a geração de efluentes e aumentar o reúso. Como consequência, o setor tem diminuído o consumo de água por tonelada produzida a cada ano, fato comprovado pelos indicadores do Programa Atuação Responsável, divulgados pela Abiquim e que o leitor poderá conferir ao longo desta publicação.

O Manual de Gestão Eficiente de Recursos Hídricos é resultado do efetivo esforço da Abiquim e de suas empresas associadas, por meio de seu Grupo de Trabalho Água, especialmente dedicado ao estudo do assunto, criado no âmbito da Comissão de Meio Ambiente, e que tem como objetivo realizar discussões e análises de cenário, além de propor ações de melhoria, visando tanto ao uso racional do recurso quanto à sustentabilidade dos negócios.

Com essa publicação, o GT Água pretende disseminar boas práticas às empresas de pequeno e médio portes, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável. O manual apresenta informações sobre o cenário da disponibilidade hídrica no Brasil, as demandas de diferentes segmentos pelo recurso e o desempenho da indústria química. Além disso, oferece orientações sobre como uma empresa pode identificar oportunidades de melhoria em sua gestão de recursos hídricos e como sistemas de reúso interno industrial de água podem ser implementados. O manual se destina a empresas de todos os segmentos industriais e não apenas aquelas do setor químico.

Em nome da Abiquim, agradeço o comprometimento dos representantes de nossas empresas associadas que, por meio dos trabalhos desenvolvidos pelo GT Água, criaram uma ferramenta que será de extrema importância e utilidade na busca pela utilização mais inteligente de nossos recursos naturais, contribuindo, assim, para melhoria de vida da sociedade brasileira e para o desenvolvimento sustentável do planeta.

Fernando Figueiredo

Presidente-executivo da Abiquim

1. Sobre a Abiquim e sobre o GT Água

A Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) é uma entidade sem fins lucrativos que congrega indústrias químicas de grande, médio e pequeno portes, bem como prestadores de serviços ao setor nas áreas de logística, transporte, gerenciamento de resíduos e atendimento a emergências. A Abiquim é estruturada para promover o aumento da competitividade e o desenvolvimento sustentável da indústria química instalada no Brasil. A entidade representa a indústria química brasileira em negociações de acordos internacionais e também no Conselho da Indústria Química do Mercosul (Ciquim) e no Conselho Internacional das Associações da Indústria Química (ICCA). A associação é signatária do SAICM, sigla para Abordagem Estratégica Internacional para a Gestão das Substâncias Químicas da ONU, e é responsável pela coordenação, em nível nacional, do Programa Atuação Responsável®, iniciativa da indústria química destinada a demonstrar seu comprometimento voluntário na melhoria contínua de seu desempenho em saúde, segurança e meio ambiente. A associação também administra o CB 10, Comitê Brasileiro de Normas Técnicas, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para a área química.

Para atender as demandas do setor, a Abiquim conta com Comissões Setoriais e Temáticas e Grupos de Trabalho formados por representantes das empresas associadas e profissionais da própria entidade.

Considerando os impactos da escassez hídrica recentemente ocorrida na região Sudeste do país, a Abiquim acredita que pode contribuir para o debate em nível nacional e para a busca por soluções e, neste contexto, criou, em 2015, um Grupo de Trabalho sobre o tema, o GT Água. O grupo tem como objetivo realizar discussões e análises a respeito de recursos hídricos e de sua utilização na indústria química, e propor ações de melhoria, visando tanto ao uso racional do recurso quanto à sustentabilidade dos negócios.

Um dos resultados dos esforços do GT foi a publicação do Guia para Elaboração de Plano de Contingência para a Crise Hídrica. O material foi estruturado em ações sugeridas para quatro níveis de contingência – verde, amarelo, laranja e vermelho –, que devem ser definidos por unidade produtiva, ou seja, com base no perfil hidrológico atual da bacia hidrográfica onde a unidade está instalada. As medidas de mitigação recomendadas para cada nível possibilitam às empresas avaliar as ações propostas e moldá-las de acordo com sua realidade. No nível verde, a empresa está no uso pleno dos recursos hídricos e, no nível mais crítico (vermelho), o volume de água das fontes hídricas é insuficiente para atender a fábrica. O Guia está disponível gratuitamente para download em abiquim.org.br.

1.1 Representatividade da indústria química

O Brasil tem a sexta maior indústria química do mundo, com faturamento de US\$ 112,4 bilhões em 2015. A indústria química é responsável por quase 10% do PIB industrial, perdendo apenas para as indústrias de petróleo, de bebidas e automobilística. Ela gera mais de 2 milhões de empregos diretos e indiretos.

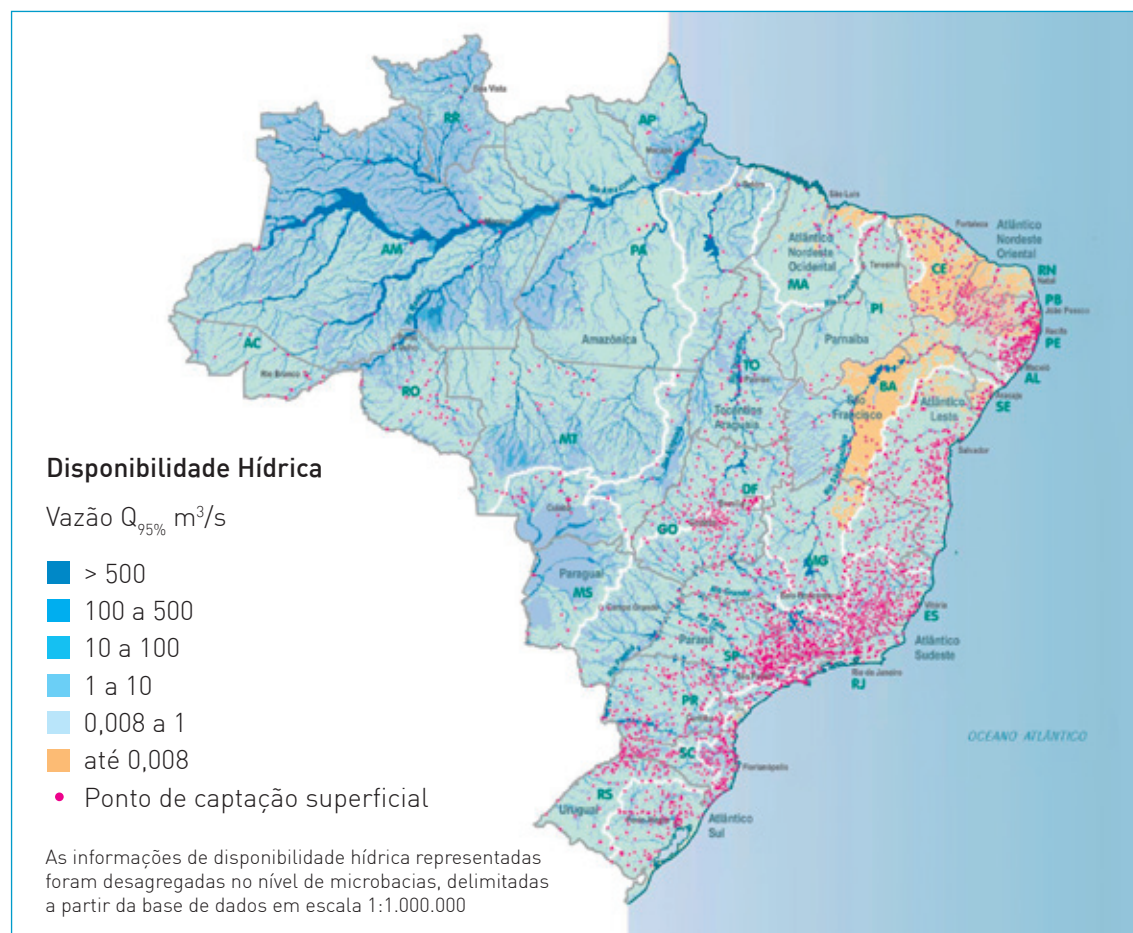
2. Recursos hídricos – Cenário e tendências

A água é um recurso essencial à vida em todas as suas formas. Com o aumento da população mundial e as alterações climáticas, a percepção da importância deste recurso tem aumentado. As interferências antrópicas e as necessidades da população fizeram da provável escassez de água uma realidade. O desafio que a humanidade tem pela frente é manter a disponibilidade de água para a crescente população e para a economia como um todo.

No Brasil, apesar da significativa disponibilidade hídrica, a distribuição das demandas no território nacional não está alinhada com a oferta, ou seja, existe alta concentração de demanda em locais onde a oferta não é equivalente.

Segundo os relatórios “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil”, da Agência Nacional de Águas (ANA), em seus informes de 2013 e 2014, apesar de o Brasil possuir 13% da água doce disponível do planeta, a distribuição é desigual. Cerca de 80% de sua água doce disponível está concentrada na Região Hidrográfica Amazônica, onde está o menor contingente populacional – pouco mais de 5% da população brasileira – e a menor demanda, enquanto nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população do País, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos.

Figura 1 – Disponibilidade hídrica superficial



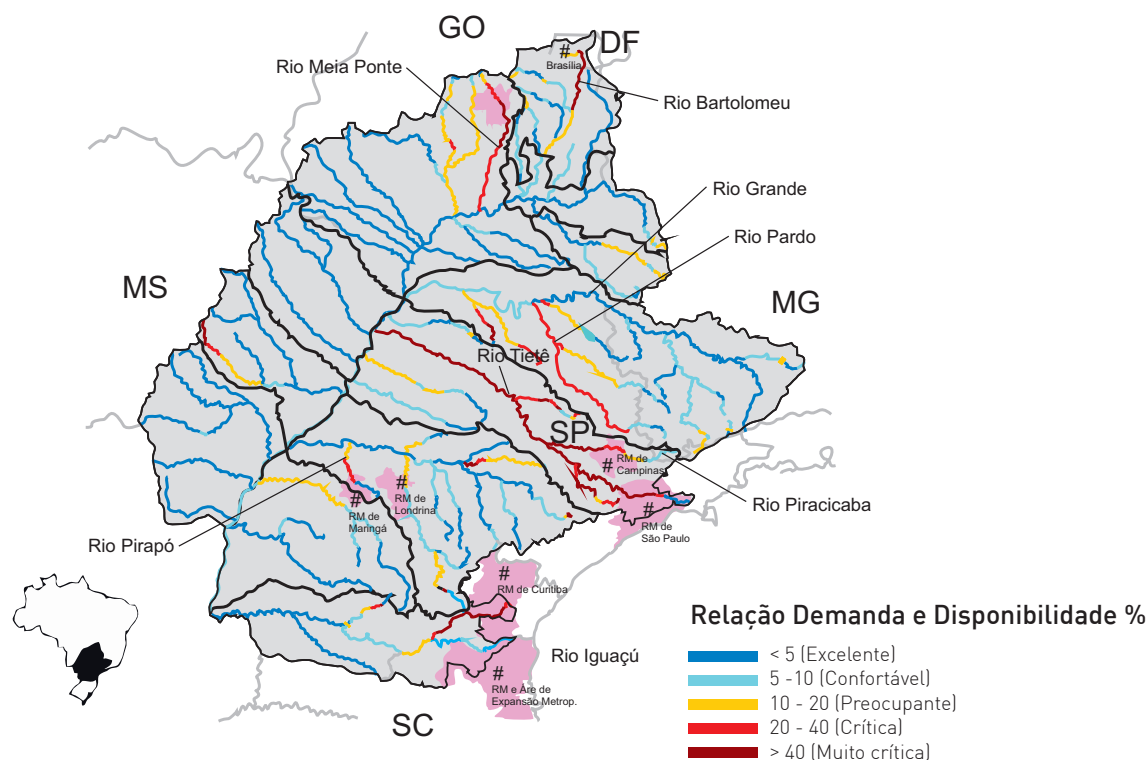
Fonte: ANA (2010, p. 31).

Na Figura 1, a disponibilidade hídrica e os pontos de captação de água superficial estão representados conforme a legenda. Nota-se que os centros industriais do país – e por consequência a maior parte da população brasileira – estão concentrados nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Na região Norte, onde temos a maior vazão hídrica, poucos são os pontos de captação.

Segundo o Informe de 2014 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), rios localizados em regiões metropolitanas – como os das Bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), Paraíba do Sul e Alto Tietê – apresentam criticidade quali-quantitativa da água, devido à alta demanda e grande quantidade de carga orgânica lançada. O mesmo relatório também aponta que as regiões Sul e Nordeste do país possuem criticidade quantitativa, devido à grande demanda para irrigação e à baixa disponibilidade hídrica, respectivamente.

Na Figura 2, verifica-se que, segundo o relatório “Disponibilidade e demanda de Recursos hídricos no Brasil” da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007), para a região hidrográfica Paraná, a relação demanda e disponibilidade em porcentagem vai de uma escala de excelente a muito crítica. Observa-se também que as regiões metropolitanas de Campinas e São Paulo são abastecidas por cursos d’água cuja relação demanda e disponibilidade está entre crítica e muito crítica.

Figura 2 – Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná



Fonte: ANA [2007, p. 104].

2.1 Demanda por recursos hídricos

Praticamente todas as atividades humanas requerem água, desde um simples trabalho em um escritório até a produção dos diversos itens consumidos pelo homem, além da própria vida. As necessidades humanas de água representam primeiramente uma demanda fisiológica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

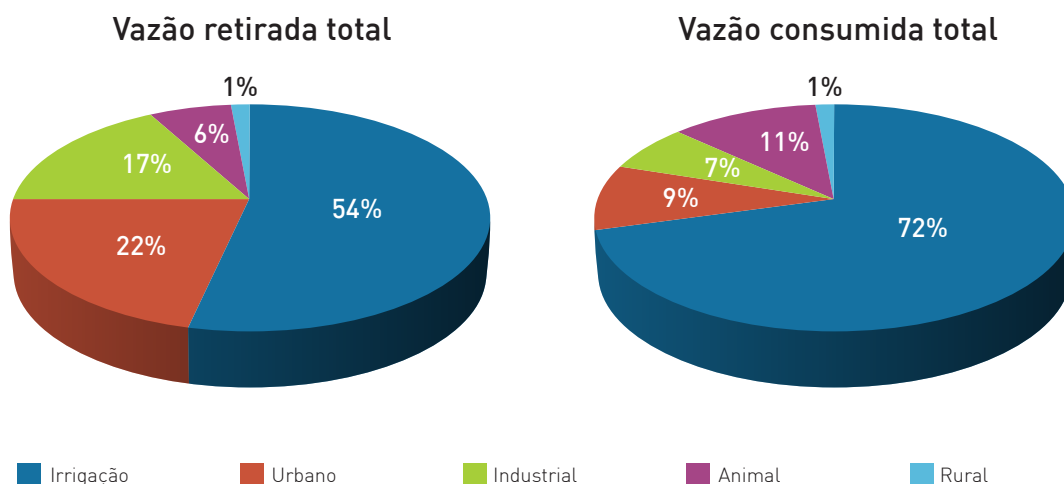
Podemos citar ainda outras demandas de água para atividades humanas (MIERZWA; HESPANHOL, 2005):

- Consumo humano;
- Uso industrial;
- Irrigação;
- Geração de energia;
- Transporte;
- Aquicultura;
- Preservação da fauna e da flora;
- Paisagismo;
- Assimilação e transporte de efluentes.

Entre outros fatores, o aumento da população mundial elevou, conseqüentemente, a demanda por água. Além do crescimento populacional, pode-se ressaltar o crescimento econômico de países em desenvolvimento, inserindo em suas economias diversos produtos que consomem água em seus processos de manufatura. Numa economia de consumo, em que o crescimento é buscado incessantemente, é cada vez maior a necessidade de melhorar o desempenho de consumo de recursos naturais.

O segmento industrial é o terceiro maior uso do País em termos de vazão de retirada dos rios e o quarto em consumo, segundo o relatório da ANA “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2014” (ANA, 2015).

Figura 3 – Demanda consuntiva total (estimada e consumida) no Brasil



Fonte: Adaptado de ANA (2015, p. 38).

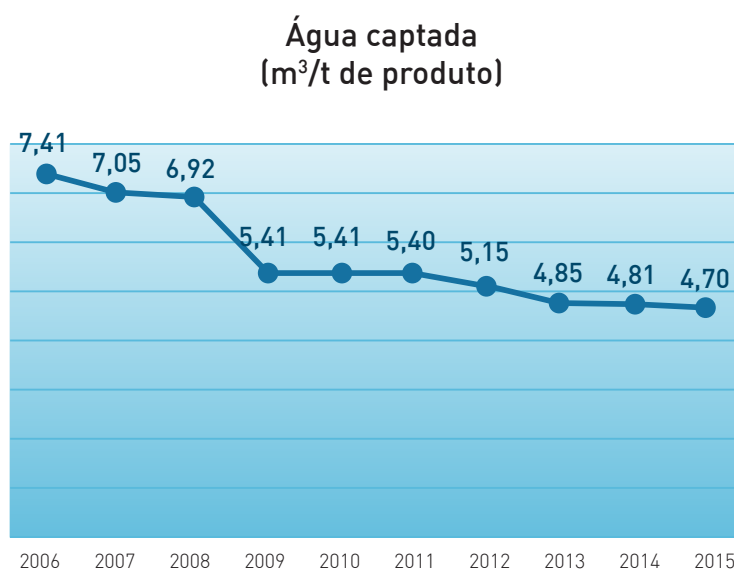
O consumo de água por parte da indústria, apesar de não ser o mais significativo, compete com o abastecimento urbano uma vez que a maior parte das indústrias está instalada em regiões metropolitanas ou em áreas muito próximas a elas.

No ranking do número de captações em rios de domínio da União, a fabricação de produtos químicos ocupa o quarto lugar entre os segmentos industriais.

2.2 Desempenho da indústria química

Segundo dados da Abiquim, entre 2006 e 2015 o setor reduziu 36% da captação de água por tonelada de produto. Além de diminuir o consumo específico do recurso, a indústria química aumentou a quantidade de efluente reciclado em seus processos de 4% em 2009 para 7% em 2015.

Figura 4 – Água captada por tonelada de produto produzido



Fonte: Abiquim (2016).

As informações apresentadas são divulgadas pelo Programa Atuação Responsável®, cuja base de dados é relativa às indústrias químicas associadas à Abiquim, que correspondem a 80% do total do faturamento dos produtos químicos de uso industrial. É possível notar que o controle do consumo por parte da indústria química passou a ser questão de alta relevância para as empresas, não apenas nas suas operações, mas também como fator decisório sobre expansões, novas instalações e investimentos.

Assim, a gestão das indústrias químicas sobre os recursos hídricos tem se concentrado em três objetivos principais: reduzir a captação, reduzir a geração de efluentes e aumentar o reúso, melhorando sua ecoeficiência.

Vale citar que a utilização de água de reúso para fins industriais é uma das ações que a indústria química já tem realizado, assim como a implementação de novas tecnologias para reduzir perdas de água.

3. Interferências na disponibilidade hídrica

A distribuição dos recursos hídricos frente à demanda não é o único fator que interfere na disponibilidade de água. Existem outros fatores que podem reduzir a oferta desse recurso, como as mudanças climáticas, o desmatamento e a qualidade das águas.

3.1 Mudanças climáticas e desmatamento

De acordo com o estudo “Riscos Climáticos: Como o setor empresarial está se adaptando”, elaborado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), projeções realizadas para o Brasil demonstram um aumento de temperatura que pode variar de 0,5 °C a 1,5 °C e alterações nos regimes de chuva em todos os biomas. Por isso, um dos riscos físicos para o ambiente de negócios levantados pelo estudo é a seca. O material traz, ainda, a informação de que o aumento da temperatura tem efeitos diretos sobre o ciclo hidrológico e a distribuição temporal e espacial das chuvas. Esse seria um dos fatores que tendem a afetar a disponibilidade hídrica, fato que já tem se manifestado na região metropolitana de São Paulo nos últimos dois anos, como lembra o estudo (CEBDS, 2015).

Vale a pena ressaltar que o desmatamento também interfere nos fatores do ciclo hidrológico, já que as árvores e plantas em geral integram o processo de perda de vapor d’água (pelas plantas, a transpiração) e o processo de infiltração (absorção de água pelo solo).

3.2 Qualidade das águas

Características dos solos nas regiões de diferentes bacias hidrográficas podem influenciar na qualidade da água, podendo gerar níveis elevados de algumas substâncias, a exemplo do manganês, alumínio, ferro e cloretos, entre outras. Períodos de estiagem também intensificam tanto as contaminações antrópicas quanto as naturais, uma vez que reduzem a diluição de poluentes na água.

Para processos industriais, a qualidade da água pode ser um fator limitante, uma vez que certas substâncias se tornam possíveis contaminantes no processo produtivo. Vale citar que a adoção de tecnologias para tratamento de águas contaminadas pode representar investimentos elevados que afetariam a competitividade das empresas.

4. Segurança hídrica

Segurança hídrica é um dos fatores vitais para a perenidade dos negócios. Problemas no suprimento de água podem implicar em perdas de produção, aumento dos custos com impactos na competitividade e até mesmo a possibilidade de interrupção de atividades.

Há que se considerar que, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, em situações de escassez, são considerados usos prioritários o consumo humano e a dessedentação animal. Como o recurso tem se tornando escasso, as tensões entre as partes interessadas (usuários) tendem a se intensificar, reforçando o entendimento de que a indústria deve possuir estratégias de adaptação a eventos de escassez.

5. Importância da gestão eficiente de recursos hídricos

Indubitavelmente, situações de escassez hídrica recentemente ocorridas têm intensificado as discussões sobre a necessidade de as empresas priorizarem a gestão de recursos hídricos motivadas pela necessidade de gerenciamento de riscos ao seu negócio.

A adoção de um processo estruturado de gerenciamento no uso de água pode reduzir as vulnerabilidades da empresa em relação ao suprimento de água e os conflitos com as comunidades locais e os demais usuários.

Se uma gestão sustentável de recursos hídricos não pode ser assegurada, a crescente demanda pela água certamente acarretará consequências. Para conter esse risco, as indústrias precisam se tornar mais independentes do fornecimento de água para os seus processos de produção, bem como aumentar a eficiência no uso do recurso.

Adicionalmente, ressalta-se que o estudo “OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction” (OECD, 2012) indica, de forma destacada, que a efetiva gestão dos recursos hídricos é o instrumento que pode assegurar água para as necessidades ambientais e sociais, ao mesmo tempo em que aloca esses recursos a partir de critérios que considerem os aspectos econômicos.

O estudo também aponta um aumento significativo da demanda de água causado pelo crescimento demográfico e da economia nos países emergentes dos Briics (Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul). O estudo indica o crescimento de situações de escassez hídrica e a necessidade de mecanismos e práticas mais eficientes, que garantam o uso múltiplo e não criem restrição ao desenvolvimento econômico.

De acordo com o relatório da Confederação Nacional da Indústria (CNI) “Água, Indústria e Sustentabilidade” de 2013:

Oportunidades e desafios para o setor industrial irão emergir dessa situação. O maior controle sobre os produtos e processos é uma tendência que coloca em pauta novas exigências ao desenvolvimento tecnológico e à inovação. Atender à crescente demanda global com menor pressão sobre os recursos naturais, entre os quais a água, já está na agenda dos negócios. As empresas que responderem a esses desafios com maior agilidade e soluções inteligentes estarão à frente no quesito competitividade. (CNI, 2013, p. 12).

Vale ressaltar que, à medida que as certificações ambientais avançaram e o conceito de sustentabilidade começou a fazer parte da estratégia das empresas, a gestão eficiente de recursos hídricos nas indústrias aumentou significativamente.

6. Reúso de água na indústria

São exemplos de reúso de água na indústria “a utilização de efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamento ou, ainda, o uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada” (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A seguir, são apresentadas definições de diferentes tipos de reúso de água, conforme publicação da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) “Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial” (2014, p. 21-22):

1. **Reúso indireto de água:** uso de água residuária ou água de qualidade inferior, em sua forma diluída, após lançamento em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
2. **Reúso direto de água:** uso planejado de água de reúso, conduzido ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
3. **Reúso em cascata:** uso de efluente industrial originado em um determinado processo que é diretamente utilizado em um processo subsequente;
4. **Reúso de efluentes tratados:** utilização de efluentes que foram submetidos a tratamento;
5. **Reúso de efluentes após tratamento adicional:** reúso direto de efluentes tratados que necessitam de sistemas complementares de tratamento para reduzir a concentração de algum contaminante específico;
6. **Reúso de efluentes não tratados:** utilização de efluentes não submetidos a tratamento, mas enquadrados qualitativamente para a finalidade ou processo a que se destinam;
7. **Reúso macro externo:** reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou de outra indústria;
8. **Reúso macro interno:** uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria;
9. **Reúso parcial de efluentes:** uso de parte da vazão da água residuária ou água de qualidade inferior diluída com água de padrão superior, visando atender ao balanço de massa do processo.

Em se tratando de processos químicos, a qualidade requerida da água para uso direto na produção geralmente é alta. Com isso, apesar dos esforços da indústria química para aplicar o reúso de água, existem barreiras técnicas e econômicas para avançar nesta questão. Além da qualidade da água requerida nas diversas etapas do processo, o investimento necessário para atingir tal especificação também é mais um dos desafios.

6.1 Avaliação de viabilidade técnica e econômica

Nem sempre projetos de reúso de água apresentam retornos econômicos. Por esta razão, torna-se tão importante a avaliação de risco de escassez hídrica associada à avaliação de viabilidade desses projetos. A melhor justificativa para aprovação de projetos de reúso de água, frente a cenários de escassez hídrica, é a demanda operacional da empresa pelo recurso.

Se a implantação de projeto de reúso de água for necessária, deve-se proceder uma caracterização físico-química do efluente onde a concentração de poluentes seja analisada, como, por exemplo, sais dissolvidos, sólidos suspensos, entre outros. O passo seguinte será encontrar, dentro do processo, possíveis usos desse efluente tal qual, conhecido como reúso em cascata (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Não sendo possível a utilização direta, identifica-se qual tratamento prévio do efluente deve ser implantado, até que a qualidade necessária seja alcançada, incluindo a avaliação de investimentos. Esta segunda prática é conhecida como reúso de efluentes tratados (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O tratamento para remoção de certos poluentes ao processo impacta o potencial de reúso. Quanto maior a qualidade requerida do efluente, maior poderá ser a demanda de investimentos. Por essa razão, é importante separar os processos por etapas, distinguindo as correntes de efluentes com menor custo de tratamento para remoção de poluentes. Dessa forma, mesmo que não se consiga reusar a totalidade dos efluentes gerados, ao menos parte deles poderá ser adicionada a algum ponto do processo.

6.2 Mapeamento de correntes hídricas

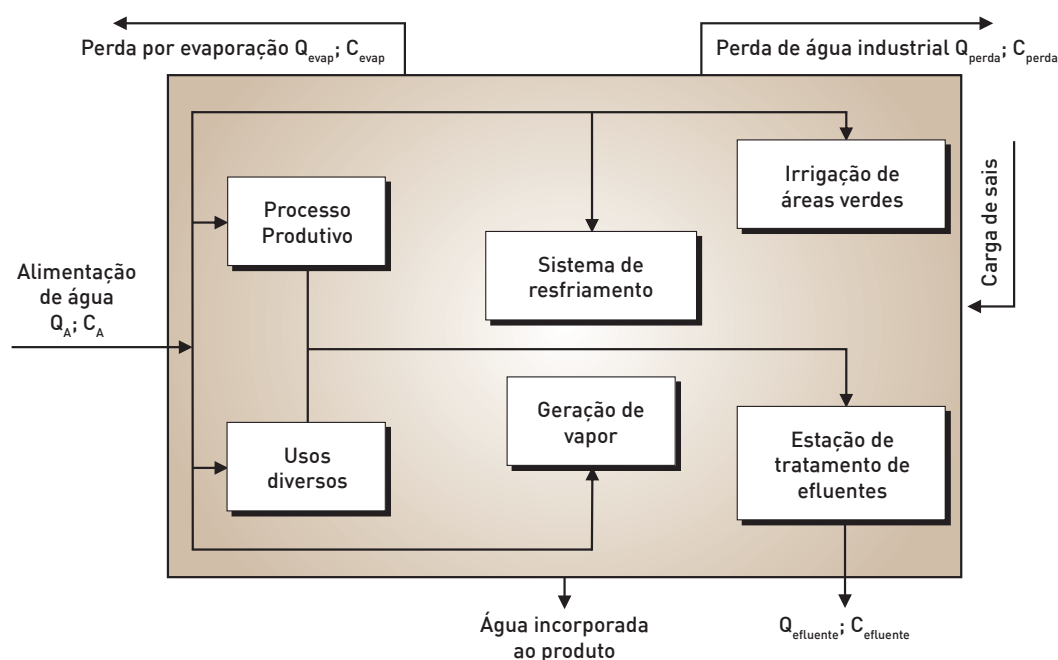
A Figura 5 exemplifica o mapeamento das correntes hídricas do processo: quantificação das vazões (Q) de água e efluente e concentração (C) de sais ou outros poluentes ao longo do processo.

O mapeamento consiste em identificar as entradas e saídas de água nos diversos usos dentro da empresa. A Figura 5 é uma sugestão de estudo em duas etapas:

1. Avaliação global (identificada pelas setas externas à caixa) representada pela equação: Alimentação = água incorporada ao produto + perdas (por evaporação e perda de água industrial) + efluentes
2. Avaliação por ponto de consumo (caixas internas), neste caso em cada etapa as entradas e saídas devem ser medidas, estimadas ou calculadas.

Determina-se também, nessas etapas, a concentração tanto na entrada como na saída. A concentração de sais e/ou outros componentes deve ser conhecida em cada etapa e comparada com os requisitos de qualidade para os diversos usos dentro do processo.

Figura 5 – Análise inicial de processo



Fonte: Mierzwa e Hespanhol (2005, p. 117).

Essas informações são de extrema importância, pois com estes dados avalia-se as possibilidades de reúso ou a necessidade de tratamento adicional para reutilizar os efluentes em outras etapas do processo ou outros usos dentro da empresa.

7. Reúso de água na indústria química

O reúso de água nas indústrias químicas desempenha um papel importante na redução do consumo deste recurso nos processos produtivos, contribuindo para a sua preservação e também para a otimização dos custos de produção.

Este tópico fornece orientação básica sobre como avaliar e gerenciar oportunidades de reúso de água em uma manufatura química.

Há que se ressaltar que, primeiramente, é preciso explorar as oportunidades para se evitar ou reduzir o consumo de água e posteriormente buscar oportunidades de reúso. Neste sentido, a implementação de medidas de conservação de água e de iniciativas de produção mais limpa – ou seja, a otimização dos processos visando ao uso racional dos recursos –, propiciará o aumento de eficiência operacional, diminuindo o volume de água consumida no processo e aumentando o volume de efluentes industriais reaproveitados como água de reúso.

7.1 Água industrial de reúso

Água industrial de reúso é aquela produzida a partir dos efluentes industriais dos vários processos produtivos, de áreas administrativas e de outros setores ou mesmo de efluentes ou esgotos externos tratados e reutilizados nas unidades industriais.

A quantidade e a qualidade da água industrial de reúso dependem diretamente de uma série de fatores, que podem incluir:

- O tipo do processo industrial que gera o efluente, como, por exemplo: lavagem de equipamentos, lavagem de pisos e pátios, descargas de equipamentos, rejeitos dos processos de filtração, centrifugações e prensagens, e purgas de caldeiras e torres de resfriamento;
- O número de vezes que a água tenha sido reutilizada, uma vez que isto pode aumentar ou diminuir os níveis de concentração de contaminantes;
- As características dos produtos e superfícies em contato com a água. Deve-se considerar a compatibilidade dos materiais construtivos dos equipamentos que estarão em contato com a água de reúso, bem como os produtos que também terão contato com ela;
- As reações que ocorrem durante o processo industrial. Em função dos contaminantes presentes na água de reúso, reações físico-químicas podem ocorrer no processo;
- Aditivos como biocidas, dispersolubilizantes e corretores de pH, que são utilizados para condicionamento das características da água de reúso;
- A temperatura da água, que pode ser um fator determinante em alguns processos que utilizam água de reúso como fluído de resfriamento.

7.2 Quando implementar um projeto de reúso industrial de água

Os projetos de reúso industrial de água podem ser implementados em várias situações, a depender de cada caso. As situações mais comuns de implementação são:

- Quando a empresa está sujeita a riscos de escassez hídrica;
- Quando o custo da água utilizada pela empresa é elevado a ponto de justificar um projeto de reúso;
- Quando a análise de viabilidade técnica e econômica do projeto é positiva;
- Quando, em sua política ambiental, a empresa preveja a reutilização desse recurso.

Orienta-se que todo projeto de reúso industrial de água seja precedido de uma análise de viabilidade técnica e econômica, além de incluir a avaliação de risco de escassez hídrica.

7.3 Avaliação de risco de escassez hídrica

Uma avaliação de risco de escassez hídrica deve abranger as seguintes etapas:

- Avaliação da bacia hidrográfica: nesta etapa, deve-se buscar o máximo de informações possíveis sobre a bacia hidrográfica onde a empresa está inserida e capta sua água. É importante avaliar, dentre essas informações, a situação atual da bacia, principalmente no que tange ao seu uso, como: tipos de uso, principais usuários, vazão disponível, etc.;
- Análise da demanda concorrente: etapa onde se avalia a água disponível para cada tipo de usuário nos cenários atual e futuro;
- Cenário para demanda concorrente futura: definem-se os possíveis cenários de aumento da demanda concorrente para o futuro. Os usuários projetam seu aumento ou redução de demanda e analisam o impacto na bacia.

É muito importante que a avaliação dos riscos de escassez hídrica seja feita em conjunto com todos os usuários, uma vez que todos influenciam no consumo da bacia. No momento em que um dos usuários modifica seu perfil de consumo, ações individuais tendem a perder sua eficiência. Sugere-se que essas avaliações e estratégias sejam inseridas nas discussões de Comitês de Bacias, Federações de Indústrias, Associações de Classe, dentre outros.

7.4 Onde a água industrial de reúso pode ser usada

A princípio, todo e qualquer efluente pode ser reusado, estando a limitação na qualidade da água exigida para o uso industrial pretendido e nos investimentos necessários para que se possa atingir essa qualidade.

Implementados os controles apropriados, a água industrial de reúso pode ser reutilizada no mesmo processo ou em um processo alternativo, na mesma empresa ou exportado a outra fábrica, por exemplo. A seguir são listados alguns exemplos de processos comuns de utilização de água industrial de reúso:

- pré-lavagem de matéria-prima;
- água de lavagem em processos gerais;
- lavagem de contenedores e pallets;
- lavagem de equipamentos e veículos;
- proteção contra incêndio industrial;
- linha de produção;
- ajuste de pH;
- caldeiras ou torres de resfriamento.

Usos não industriais de água de reúso devem ser avaliados individualmente por especialistas e autoridades dos órgãos ambientais e da saúde. A água industrial de reúso não é considerada adequada para consumo humano, preparação de alimentos, higiene pessoal, piscinas, clubes, lavanderia de roupas de uso pessoal ou dessedentação animal.

7.5 Autorizações para utilização de água industrial de reúso

É absolutamente recomendável que os detalhes do projeto de utilização de água industrial de reúso (como processos, volumes, qualidade da água e descarte) sejam avaliados e informados ao órgão ambiental antes de sua implementação.

A utilização de água industrial de reúso deve atender a legislação ambiental mais restritiva, quer seja ela federal, estadual ou municipal.

7.6 Gestão de riscos

Para reutilizar a água industrial de forma segura e sustentável, é importante identificar, avaliar e gerir de forma apropriada seus possíveis riscos. Para isso, uma avaliação do sistema de água industrial de reúso deve ser realizada para identificar potenciais riscos e suas possíveis consequências. Essa avaliação ajudará a determinar controles necessários para reduzir e evitar impactos indesejáveis.

7.7 Avaliação do sistema de água industrial de reúso

A água industrial pode apresentar uma grande variedade de riscos químicos, físicos e microbiológicos. Sem a adequada proteção, as pessoas ou o ambiente podem ser expostos a estes riscos quando a água industrial é reutilizada. Exemplos de riscos comuns:

- organismos patogênicos;
- elementos inorgânicos dissolvidos (por exemplo, cálcio e sódio);
- metais (por exemplo, arsênio, bário, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata);
- sólidos suspensos;
- compostos orgânicos e inorgânicos com toxicidade;
- organismos não patogênicos que podem causar odor, corrosão ou obstrução em equipamentos.

Por essa razão, a avaliação do sistema de água industrial de reúso deve incluir:

- Identificação e avaliação da fonte geradora de água industrial de reúso. Deve-se estabelecer um monitoramento periódico para identificar a qualidade da água da fonte geradora principalmente nos pontos em que os parâmetros possam extrapolar os valores desejáveis para o uso pretendido da água de reúso;
- Identificação e avaliação da utilização final da água industrial de reúso. O monitoramento deve focar especialmente os parâmetros de interesse ao uso pretendido da água de reúso

7.8 Medidas preventivas para utilização de água industrial de reúso

A utilização industrial de água de reúso é, sem dúvida, uma eficiente maneira de promover a preservação dos recursos naturais. Entretanto, há que se considerar que a água industrial de reúso, a depender de suas características, pode apresentar riscos para o meio ambiente, a saúde e a segurança no trabalho. Para gerir eficazmente esses riscos, é importante identificar e implementar medidas preventivas e de controle. A gestão consciente e responsável é, certamente, a chave para uma operação segura e saudável.

Medidas de gestão da utilização da água industrial de reúso podem incluir: controle da fonte geradora; controle de armazenamento; controle de tratamento; controle da qualidade da água; controle de abastecimento; controle de utilização final; controle dos riscos no local do trabalho; treinamento; sinalização e gestão de emergências; documentação e relatórios; e revisão e melhoria contínua.

7.8.1 Controle da fonte geradora

O processo de produção de água industrial de reúso é projetado para determinados parâmetros da fonte geradora, como vazão e qualidade dos efluentes industriais. Assim, qualquer variação nesses parâmetros pode impactar a capacidade de entrega da água de reúso na vazão e qualidade necessários ao uso pretendido. Por essa razão, deve-se garantir que o efluente industrial utilizado

para a produção de água de reúso não sofra contaminação adicional. Nesse caso, podem ser consideradas alternativas como: desvios no fluxo de efluentes para o processo de produção de água de reúso ou armazenamento do efluente em tanques ou reservatórios permitindo a equalização de contaminantes para valores dentro dos limites aceitáveis pelo processo.

7.8.2 Controle de armazenamento

A água de reúso deve ser armazenada de maneira a não permitir contaminações por outros efluentes ou águas contaminadas. Tanques e reservatórios devem ser preferencialmente cobertos. Nos casos em que uma cobertura não é prevista, bordas altas, acima do solo, devem ser instaladas para não permitir migração de produtos indesejáveis que podem contaminar a água de reúso.

7.8.3 Controle de tratamento

Deve-se considerar todos os possíveis fatores de risco que desencadeiem a necessidade de tratamento adicional específico durante o processo de produção da água industrial de reúso, como, por exemplo, a filtração para remoção de sólidos suspensos, remoção de óleos e gorduras, controle de pH, etc. Deve-se também elaborar um manual de procedimentos operacionais para a produção da água industrial de reúso, de maneira a se garantir uma operação uniforme e segura.

7.8.4 Controle da qualidade da água de reúso

A qualidade da água industrial precisa ser periodicamente verificada, tanto no final do processo de produção quanto no ponto de uso final. Em alguns casos, o monitoramento deve ser mais frequente, entretanto não necessariamente contínuo. Os programas de monitoramento e testes de verificação devem ser desenvolvidos com base na avaliação de riscos e devem ser considerados no manual de procedimentos operacionais. É importante identificar quais os parâmetros e características precisam ser monitorados, em que ponto do processo e com que frequência. Pode-se considerar, por exemplo, no mínimo a inspeção visual do processo onde seja possível observar a qualidade aparente da água de reúso. Entretanto, em casos em que os riscos previamente identificados sejam mais elevados, um teste físico-químico pode ser necessário para garantir a qualidade da água de reúso e a segurança do processo. Esses testes devem ser feitos no efluente de entrada, na água de reúso e no ponto de uso final.

7.8.5 Controle de abastecimento

As tubulações, além de devidamente sinalizadas, devem atender normas de projeto e instalação para se garantir a operação segura do processo e das pessoas. Deve-se prever dispositivos e válvulas de retenção para evitar o refluxo de água de reúso. Deve ser proibida a conexão de uma tubulação de água de reúso com uma tubulação de água potável, ainda que exista uma boa válvula de bloqueio associada a uma válvula de retenção na linha de água potável. Essas válvulas, com o tempo, ou mesmo durante a operação, podem falhar e permitir a passagem de água de reúso para o circuito de água potável.

7.8.6 Controle de utilização final

Em todos os pontos de utilização, devem ser instaladas etiquetas ou placas que sinalizem "ÁGUA DE REÚSO, NÃO POTÁVEL". Recomenda-se também a instalação de hidrômetros para a contabilização dos volumes utilizados, permitindo assim o gerenciamento e o registro, tornando possível a avaliação dos benefícios ambientais e econômicos da utilização da água de reúso.

7.8.7 Controle dos riscos no local do trabalho

A exposição primária aos sistemas de reutilização de água industrial está relacionada aos funcionários e aos visitantes no local de trabalho. Esses riscos no local de trabalho são controlados pelo Plano de Prevenção de Riscos do Ambiente do Trabalho. Nesse plano, todos os agentes físicos, químicos, biológicos e ionizantes são identificados e mensurados, e medidas de controle são adotadas para proteger as pessoas da exposição. Esse plano é parte dos programas de prevenção de acidentes e saúde ocupacional do Departamento de Saúde, Segurança e Medicina do Trabalho, que é regulado no Brasil pela Norma Regulamentadora NR 09 – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

Para os operadores e outras pessoas que possam ter contato direto com a água de reúso, a área de Segurança do Trabalho deve fazer uma análise qualitativa e quantitativa dos componentes químicos presentes na água de reúso e então estabelecer os equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados para garantir a proteção dos trabalhadores.

7.8.8 Treinamento

É fundamental que todo o pessoal envolvido na operação do processo de geração de água de reúso seja suficientemente capacitado e conheça bem as condições de processo, os detalhes operacionais e as medidas de contingência para situações atípicas.

7.8.9 Sinalização

A sinalização assume um papel muito importante para a segurança das pessoas e para o meio ambiente, uma vez que tem como objetivo informar e alertar as pessoas quanto a tubulações e tanques utilizados para transporte e armazenamento de água de reúso. Todos os tanques, tubulações, torneiras e válvulas dos sistemas de água de reúso devem ser imperativamente sinalizados com as palavras: “ÁGUA DE REÚSO, NÃO POTÁVEL”.

7.8.10 Incidentes e gestão de emergências

Recomenda-se estabelecer procedimentos apropriados para o gerenciamento de quaisquer incidentes ou situações de emergência, como, por exemplo, vazamento ou derramamento da água de reúso no sistema de águas pluviais. Deve-se estabelecer mecanismo que permita a identificação rápida desses eventos.

Se possível, devem ser instaladas e mantidas em boa condição de operação comportas nos canais e sistemas de drenagem de águas pluviais, para evitar a descarga em sistemas públicos que estão conectados a corpos d'água.

Deve-se ter implementado e testado um sistema de comunicação com os órgãos ambientais para notificação imediata do evento ocorrido.

7.8.11 Documentação e relatórios

A manutenção de documentação apropriada e relatórios é muito importante para assegurar uma gestão eficaz, além de estabelecer comunicação aos funcionários e partes interessadas.

7.8.12 Revisão e melhoria contínua

É importante constantemente avaliar a eficácia da gestão do sistema para identificar oportunidades de melhoria. O processo deve ser revisto periodicamente, desde a captação do efluente industrial até o ponto de uso final, incluindo todas as etapas do processo.

8. Tecnologias de reúso de água

Programas de reúso industrial planejado começaram nos EUA na década de 1940, quando efluentes de esgoto doméstico clorado foram utilizados para processamento de aço. Na Suécia, um aumento de 5 a 6 vezes no reúso foi observado entre as décadas de 1930 e 1970. Durante os últimos anos, os benefícios da promoção do reúso de efluentes como forma de complementar o acesso a recursos hídricos têm sido mundialmente reconhecidos.

Considerando o reúso direto planejado para fins não potáveis, pode-se subdividi-lo nas seguintes modalidades: reúso não potável para fins agrícolas, reúso não potável para fins industriais, reúso não potável para fins recreacionais, reúso não potável para fins domésticos, reúso para manutenção de vazões, reúso em aquicultura ou aquíicultura, e reúso para recarga de aquíferos subterrâneos.

No Brasil, destacam-se algumas ações a partir de 1992, com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo (Abes-SP), que apresenta um relatório com algumas recomendações para estimular o reúso como uma alternativa ambiental. Havia ações específicas para reciclagem da água em indústrias. Muitas delas foram implementadas, e resultados expressivos foram conseguidos. Entretanto, pela complexidade do tema, muitas incertezas ainda persistem e o desafio continua.

Em 2005, a Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, definindo vários aspectos que ajudaram na manutenção do conceito.

O interesse no reúso de água tem crescido também em outras partes do mundo, em resposta à demanda de abastecimento confiável de água para a agricultura, indústria e uso doméstico; porém, apenas mais recentemente foram adotadas tecnologias de reúso de efluentes. Seu desenvolvimento tem sido lento, considerando-se a crescente consciência da degradação ambiental, a pressão pública, a implementação de normas cada vez mais rigorosas e o interesse das próprias indústrias. A redução na oferta e o maior custo de água bruta também estão forçando a indústria a implementar tecnologias de reúso. Muitas indústrias estão agora se concentrando em métodos para diminuir o consumo de água e reduzir a descarga de efluentes poluídos. O movimento para o reúso de efluentes é refletido em diferentes métodos de tecnologias limpas, tais como o reúso interno de efluentes industriais e o reúso de efluentes municipais tratados.

Com relação à indústria, os principais usos de água de reúso estão relacionados a sistemas de resfriamento, processos, alimentação de caldeiras, transporte de material, lavagem, entre outros. A principal vantagem da utilização dessa fonte é segurança no fornecimento, principalmente quando as indústrias se localizam próximas a grandes centros urbanos, onde grandes quantidades de efluentes são gerados, ou mesmo em locais onde a disponibilidade de água é restrita. Os requerimentos de qualidade de efluente tratado para reúso industrial, além das normas que garantem a proteção da saúde, necessitam de um detalhamento rigoroso para evitar impactos negativos no processo ou mesmo problemas operacionais no tratamento.

O potencial para reúso de efluentes industriais é dependente de uma variedade de fatores e difere de uma indústria para outra. Indústrias que consomem uma grande quantidade de água, certamente, têm maior potencial para reúso interno. Da mesma forma, simples tratamentos físico-químicos podem ser suficientes para atividades como lavagem de pisos e refrigeração. Outros efluentes industriais têm altas concentrações de produtos químicos, que devem ser removidos, e, em alguns casos, subprodutos podem ser recuperados, agregando valor ao tratamento.

A escolha da tecnologia mais adequada para reúso depende diretamente do seu uso final e seus requisitos de qualidade. Em alguns casos, o uso de diferentes tecnologias acopladas faz-se

necessário para alcançar a remoção de certos contaminantes. Como regra geral, quanto maior a qualidade requerida da água de reúso, mais avançado deve ser o processo de tratamento.

O reúso pode ser aplicado com diferentes categorias de qualidade e seus correspondentes níveis de tratamento: secundário, terciário e quarternário/avançado. Além da questão técnica, as diferentes tecnologias de tratamento disponíveis devem ser analisadas do ponto de vista econômico e operacional. Dessa forma, cada indústria pode definir a melhor rota tecnológica para reúso, visando ao uso da melhor tecnologia disponível a um custo viável. Outro ponto a ser considerado é que, muitas vezes, a disponibilidade hídrica na região onde a indústria está localizada é tão crítica que o reúso torna-se economicamente muito viável, além de trazer um retorno ambiental considerável.

Reutilizar efluentes é uma alternativa econômica atraente e ajuda a conservar um bem essencial para as gerações futuras. O seu uso econômico também reduz a quantidade de resíduos enviados para instalações de tratamento e reduz ainda mais os custos de tratamento.

Em resumo, várias questões devem ser respondidas ao considerar-se o reúso de água na indústria:

1. Quais são os efluentes de interesse e quais contaminantes específicos deverão ser removidos?
2. As análises qualitativas dos efluentes são suficientes e de qualidade?
3. Qual é a qualidade necessária do efluente para reúso?
4. Quais são os fluxos e os pontos onde o efluente seria reusado?
5. Quais são as demandas futuras de água e fontes disponíveis?
6. A segregação de efluentes é possível com a estrutura atual?
7. A equalização de fluxos é necessária, ou seja, a geração de efluentes é sazonal ou muito variável?
8. Qual é o espaço disponível?
9. Qual será o destino dos lodos gerados neste processo?
10. O sistema concebido deve chegar a uma descarga líquida zero (ZLD), ou uma descarga líquida mínima (MLD) é suficiente?
11. Quais são as potenciais reduções de custos?
12. Quais são as vantagens, além das econômicas, que podem favorecer o reúso na indústria?

Com as respostas a esses questionamentos, é possível realizar uma análise detalhada das tecnologias disponíveis e facilitar o processo de decisão sobre qual(is) tecnologia(s) pode(m) ser aplicada(s) para a geração de água industrial de reúso.

Neste contexto, as principais etapas dos processos usuais de tratamento de água industrial para reúso são apresentados.

8.1 Processo de coagulação

Segundo o Manual de Tratamento de Água publicado em 2012 pela agência norte-americana *Environmental Protection Agency* (EPA, 2012), as impurezas ocorrem em três estados progressivamente mais finos – suspenso, coloidal e dissolvido. Diferentes métodos de tratamento são necessários para a sua remoção ou redução para limites aceitáveis. Coagulação e floculação, bem como a filtração são etapas interdependentes da separação de sólidos no tratamento da água e efluentes.

O objetivo da coagulação é a remoção de impurezas, especialmente sólidos não sedimentáveis e cor. Produtos químicos de coagulação permitem que partículas se agrupem para formar flocos. No processo de coagulação, esses produtos fazem com que as partículas coloidais se desestabilizem e se aglutinem, formando partículas de maior peso/tamanho, no processo de floculação. Quando aglomerados de flocos se unem, podem formar grandes flocos, mais pesados que decantam e/ou flutam, dependendo do processo adotado (decantação ou flotação), e podem ser removidos e facilmente filtrados (separação do lodo/lama).

Produtos químicos utilizados na coagulação se referem a qualquer tipo de coagulante primário ou auxiliar de coagulação, usado para fazer com que as partículas desestabilizadas comecem a se aglutinar. O propósito dos auxiliares de coagulação é o condicionamento da água para uma melhor eficiência nas etapas de coagulação e floculação. Fatores como o pH, a turbidez, a temperatura e a mistura afetam a atuação dos coagulantes.

8.2 Processo de floculação

Ainda segundo o Manual de Tratamento de Água da *Environmental Protection Agency* (EPA, 2012), a floculação é um processo de movimentação suave da água que promove a união de microflocos, produzidos pela coagulação, em massas maiores mais adequadas para remoção por processos de clarificação e filtração. Os contatos e/ou colisões entre partículas resultam de uma agitação suave criada mecanicamente ou por outros meios de mistura, a uma taxa muito mais lenta do que a taxa de mistura em coagulação.

A formação de flocos é controlada pela taxa em que essas colisões de partículas ocorrem e pela eficácia dessas colisões na ligação entre as partículas. O melhor tamanho do floco varia de 0,1 mm a cerca de 3 mm, dependendo do tipo de processo de remoção posterior utilizado.

Uma floculação eficaz envolve a seleção do tempo de detenção correto, intensidade de mistura adequada, câmara de forma apropriada ou vaso para a efetiva mistura para promover contatos entre microflocos e o meio, seja por equipamentos mecânicos seja de outra forma, de criar os movimentos da água requeridos.

Assim como acontece com os coagulantes, os floculantes também são afetados pela temperatura, pH e turbidez, e a taxa de alimentação é fundamental. Uma dose excessiva pode formar um floco grande de decantação rápida que não arrastará as partículas finas e deixará os sólidos em suspensão.

A remoção da matéria suspensa é melhorada consideravelmente com a adição de vários produtos químicos solúveis em água e polímeros que promovam a coagulação e a floculação. Esses processos são usados para separar os sólidos suspensos dos líquidos quando as suas velocidades de sedimentação são tão pequenas que não permitem uma clarificação efetiva.

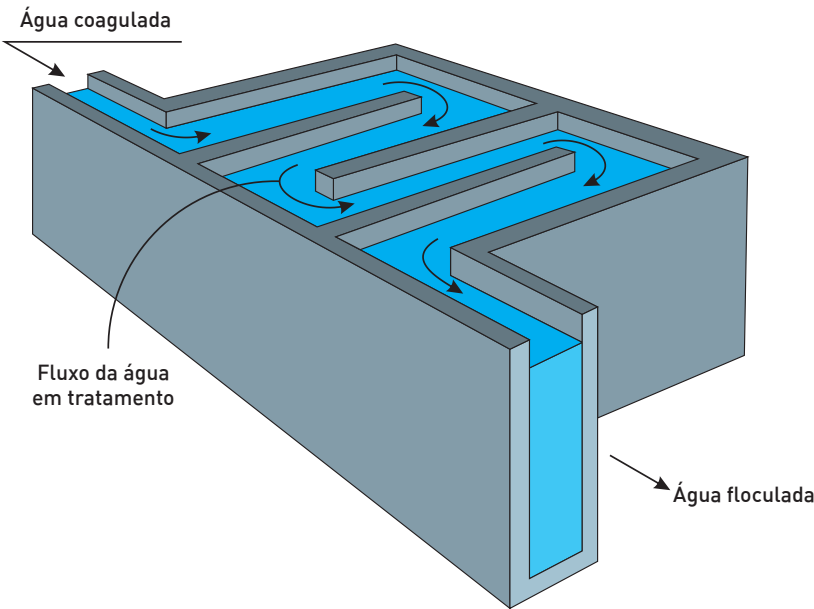
Nesse processo, devemos determinar a natureza e a resistência da carga da partícula para definir a proximidade relativa que as partículas no sistema coloidal podem atingir. O potencial zeta é uma medida desta força.

Para coloides em água numa gama de pH de 5 a 8, o potencial zeta é geralmente de -14 a -30 mV. À medida que este potencial vai diminuindo, as partículas vão se aproximando umas das outras, aumentando a probabilidade de colisão.

Num sistema de clarificação convencional, a um pH de 6 a 8, os coagulantes fornecem as cargas positivas para reduzir o valor negativo do potencial zeta. A coagulação ocorre geralmente a um potencial zeta que é ainda ligeiramente negativo, de modo que usualmente não é necessária a completa neutralização da carga.

Floculantes são polímeros ou polieletrólitos com alto peso molecular. Polieletrólitos são classificados de acordo com a carga elétrica na cadeia do polímero, os carregados positivamente são chamados de catiônicos e os que não possuem carga elétrica são os não iônicos. Os aniônicos e os não iônicos são geralmente utilizados com coagulantes metálicos para promoverem a ligação entre os coloides, a fim de desenvolver flocos maiores e mais resistentes.

Figura 6 – Esquema de um sistema de floculação



Fonte: Vianna (1997).

Para selecionar o melhor coagulante, as estimativas do potencial zeta devem ser complementadas com resultados de testes em laboratório.

Os principais fatores que afetam a coagulação e floculação das águas residuais são os sólidos suspensos, o pH, a dosagem e a natureza do floculante.

Tabela 1 – Produtos químicos comumente utilizados nos processos de coagulação/floculação

Tipos de Coagulantes	Tipos de Floculantes	Ajuste de pH
Aluminato de Sódio Bentonita Cloreto de Alumínio Cloreto Férrico Policloreto de Alumínio (PAC) Sílica Ativada Sulfato de Alumínio Sulfato Férrico Sulfato Ferroso	Polímeros Catiônicos Polímeros Aniônicos Polímeros Não Iônicos	Ácido Clorídrico Ácido Sulfúrico Carbonato de Cálcio (Cal Hidratada) Carbonato de Sódio Carbonato de Sódio (Barrilha) Gás Carbônico Hidróxido de Sódio (Soda Cáustica) Silicato de Sódio

Fonte: Elaborado pelos autores.

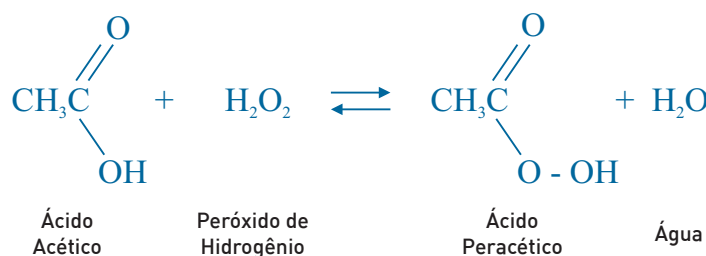
8.3 Processo de desinfecção e/ou processos oxidativos

A desinfecção é utilizada para inativar microrganismos patogênicos, incluindo vírus, bactérias, protozoários, oocistos, cistos e helmintos, e seus riscos de saúde associados.

8.3.1 Ácido peracético

O ácido peracético (APA) é uma solução incolor levemente amarelada com odor que remete ao de vinagre, seu pH é menor que 2, é solúvel em água. Sua fórmula química é $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$. Esse produto se forma através do equilíbrio entre peróxido de hidrogênio, ácido acético e água, conforme representação na Figura 7.

Figura 7 – Equação de equilíbrio do ácido peracético



Fonte: Colgan (2001)

O APA é conhecido como agente oxidante e utilizado amplamente na desinfecção em diversos segmentos. A atividade do oxigênio ativo, característico dos peróxidos, é combinada com o ácido acético, resultando em um produto pertencente à classe dos peróxidos orgânicos fabricados sinteticamente.

Países como Itália, Reino Unido, Estados Unidos e França utilizam o APA em várias estações de tratamento de esgoto para a redução do número de microrganismos fecais, visando ao reúso ou adequação aos parâmetros de lançamento impostos pelas legislações.

Em relação às propriedades físico-químicas, o APA possui largo espectro de atividade, apresentando-se mais eficiente na inativação de bactérias, seguido de vírus, esporos bacterianos e protozoários, nesta ordem.

8.3.2 Cloração

A desinfecção com cloro pode ser conseguida utilizando-se cloro livre, cloraminas ou outras espécies com átomos de cloro. Independentemente do modo de cloração, a eficiência da desinfecção depende da temperatura da água, pH, grau de mistura, o tempo de contato, a presença de substâncias interferentes, a concentração e a forma de espécies de cloro, e a natureza e concentração dos organismos a serem destruídos.

Os requisitos de desinfecção muitas vezes incluem o monitoramento de cloro total (que inclui o cloro livre, cloraminas e outros compostos orgânicos de cloro) que permanece na água/efluente tratado após um determinado tempo de contato. Dependendo da qualidade da água e sua composição química, podem haver diferenças de demanda de oxidante.

Esse método garante o efeito bactericida na água, pois é possível manter um excesso de cloro ou do seu derivado clorado (hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio) na corrente após o tratamento.

8.3.3 Dióxido de cloro

O dióxido de cloro – ClO_2 – é um produto químico gerado no local da aplicação e amplamente utilizado como agente de desinfecção e de oxidação, bem como sua peculiaridade em manter-se na água como um gás dissolvido e independente do pH do meio onde está sendo aplicado.

O dióxido de cloro não reage com a água, que lhe confere propriedades únicas de ação tanto no processo de oxidação como também no controle e inativação da atividade microbiana, bacteriana, de protozoários e outros microorganismos danosos à saúde humana e ao meio ambiente, atuando em largo espectro.

8.3.4 Ozônio

A detecção de poluentes emergentes como fármacos, hormônios e herbicidas em águas de reúso resultou em um aumento do interesse na aplicação da desinfecção por ozônio. O elevado potencial de oxidação do ozônio faz com que ele seja apropriado para a oxidação de compostos que podem causar problemas de odor. Ele também decompõe compostos orgânicos maiores, acarretando uma melhor eficiência quando usado em conjunto com UV. O ozônio tem sido predominantemente usado no setor de água potável, embora a sua utilização na desinfecção de água de reúso seja crescente.

8.3.5 Ultravioleta

A desinfecção por ultravioleta (UV) é um método para combater a maioria dos microrganismos, incluindo vírus – tais como o poliovírus, calicivírus, reovírus, coxsackie, rotavírus e outros. Normalmente, os sistemas UV são projetados para atender às normas de organismos indicadores de presença bacteriana. Assim, bactérias totais e/ou coliformes fecais são os alvos primários. A dose de UV é medida em milijoules por cm^2 (mJ/cm^2) e é calculada multiplicando a intensidade da radiação UV e o tempo de exposição.

A desinfecção por UV é melhorada através da filtração da água antes da desinfecção, tanto pela redução do número de partículas como pela quantidade de partículas.

Em resumo, produtos químicos comumente utilizados nesses processos (desinfecção e/ou processos oxidantes) são:

- Ácido peracético;
- Cloro gás liquefeito;
- Cloro orgânico (dicloro e tricloro);
- Dióxido de cloro;
- Hipoclorito de cálcio;
- Hipoclorito de sódio;
- Ozônio;
- Oxigênio (aeração);
- Peróxido de hidrogênio.

8.3.6 Processos oxidativos avançados

Processos oxidativos avançados (POAs) são uma classe de tecnologias de tratamento de água – incluindo UV/peróxido de hidrogênio, ozônio/peróxido de hidrogênio, ozônio/UV, UV/ TiO_2 (dióxido de titânio) e uma variedade de reações Fenton (Fe /peróxido de hidrogênio, Fe /ozônio, Fe /peróxido de hidrogênio/UV) – que podem ser adicionadas ao tratamento de efluentes. Essas tecnologias têm uma ampla gama de aplicações, entre elas a redução de contaminantes emergentes e toxicidade de efluentes industriais e municipais, sendo útil no tratamento de água de reúso.

Embora exista uma variedade de tecnologias de tratamento, cada POA é semelhante na medida em que se destina a gerar espécies intermediárias, altamente reativas, tais como os radicais hidroxila e os radicais superóxido. Os radicais hidroxila formados em paralelo com um desinfetante primário resultam na transformação de compostos orgânicos tóxicos em compostos menos tóxicos.

Processos oxidativos avançados são mais comumente usados em aplicações de reúso para remover compostos recalcitrantes orgânicos.

8.4 Processo de filtração

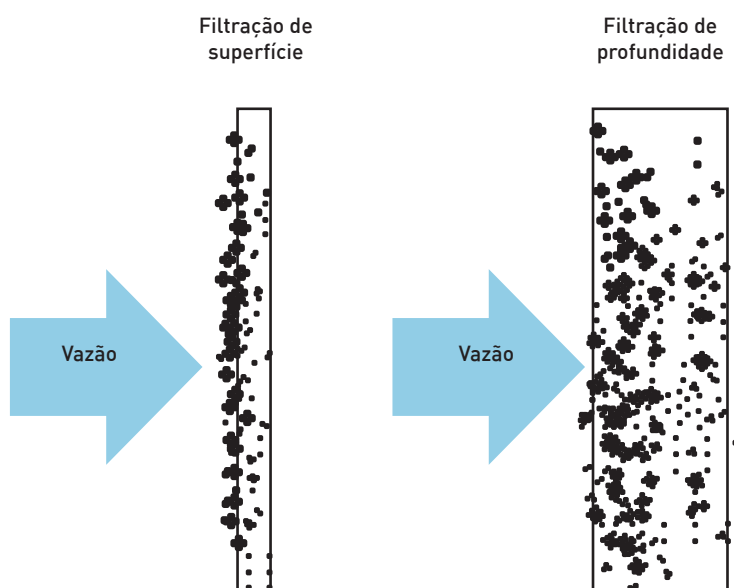
A filtração remove materiais em partículas, sólidos em suspensão e alguns constituintes dissolvidos, dependendo do tipo de filtro. A capacidade de filtração para remoção de agentes patogênicos varia em função do tamanho de poro dos meios, do tamanho do agente patogênico e da adição de produtos químicos.

Nos últimos anos, dada a grande ênfase pela busca da melhoria do tratamento para reúso, tem-se notado muitas inovações em filtração; por isso, atualmente, existem vários tipos de tecnologias de filtragem disponíveis. Fatores regulatórios podem afetar o tipo de filtração, quando necessário, para as atividades de reúso de água. Independentemente das variações significativas nas configurações e características dos filtros, existem três tipos de tecnologias de filtração comercialmente disponíveis: filtração de profundidade, filtração de superfície e filtração por membranas.

8.4.1 Filtração de profundidade

Na filtração de profundidade, os contaminantes são removidos por meio de toda a profundidade do meio filtrante em questão e não apenas na superfície de entrada e de contato com esses contaminantes. Esses dois efeitos, ilustrados na figura a seguir, podem ser operados no mesmo filtro e ao mesmo tempo.

Figura 8 – Diferenças entre a filtração de superfície e de profundidade



Fonte: Meio Filtrante (2002).

Entretanto, um filtro de superfície corretamente projetado deve remover e impedir a migração da partícula pelo meio filtrante. Se um filtro de profundidade forma uma “torta” na superfície de entrada, sua vida útil estará comprometida e o desempenho obtido será bem abaixo do esperado. O primeiro objetivo de um filtro de profundidade corretamente projetado é a prevenção do carregamento de superfície para permitir que o volume do meio filtrante seja utilizado.

Em geral, os meios filtrantes usados são areia, antracito ou granada. Dependendo do tipo de filtro (mídia única ou multimídias), o tamanho efetivo da mídia em filtros não compressíveis varia entre 0,4 mm e 2,0 mm de diâmetro médio. Plantas de filtração de profundidade existentes também estão aumentando sua capacidade de filtração através da realização de estudos para operar a taxas de aplicação hidráulica superiores. Esses avanços nas taxas permitem a redução substancial dos custos de filtração.

8.4.2 Filtração de superfície

As principais diferenças entre filtros de superfície e de profundidade são a profundidade dos meios e o material da mídia. Filtros de superfície consistem tipicamente de telas ou tecidos fabricados a partir de nylon, poliéster, acrílico e fibras de aço inoxidável. Os filtros de superfície são alimentados por gravidade ou por pressão. A retrolavagem é semicontínua; no entanto, por curtos períodos de tempo, pode ser necessário realizar lavagem em modo contínuo.

8.4.3 Filtração lenta

Filtração lenta, juntamente com processos de filtração naturais, é na verdade um dos mais antigos processos de tratamento de água potável existentes. Ainda muito utilizada atualmente, essa tecnologia usa areia de pequeno diâmetro com baixas taxas sem coagulação química. Apesar de a filtração lenta usar principalmente ambos os mecanismos físicos e biológicos para remover os contaminantes, o mecanismo biológico (pela ação de microrganismos) domina.

8.4.4 Filtração de alta taxa

Filtração de taxa rápida usa mídia de maior diâmetro, como areia e antracito, e taxas maiores comparadas aos filtros lentos. Um coagulante e/ou auxiliar de coagulação é adicionado à montante do processo para remover turbidez e matéria orgânica. O filtro é lavado periodicamente com água e, em algumas vezes, ar. Um processo de pré-oxidação aumenta a atividade biológica por oxidação de matéria orgânica complexa em compostos orgânicos pequenos mais biodegradáveis.

8.4.5 Carvão ativado

O carvão ativado é o agente ativo no processo de purificação chamado de adsorção. Adsorção é um fenômeno de superfície: ocorre uma acumulação de moléculas (soluto) sobre a superfície interna do adsorvente (carvão ativado). O carvão ativado é um material altamente poroso de origem natural, com elevadíssima área superficial que lhe confere ótimas propriedades adsorptivas. É a porosidade do carvão ativado que permite a remoção de contaminantes de correntes líquidas ou gasosas pelo processo de adsorção.

A adsorção é influenciada principalmente pela distribuição de tamanhos de poros do grau de carvão ativado usado, e do tipo de impurezas e concentrações respectivas na corrente a tratar.

A maioria das impurezas orgânicas dissolvidas é facilmente adsorvida pelo carvão ativado. Compostos hidrofóbicos também são mais facilmente adsorvíveis.

Diferentes tipos de carvão ativado são utilizados em diferentes aplicações – na purificação de diversos gases e/ou líquidos – em função das condições operacionais, da contaminação presente e dos objetivos de tratamento em causa.

Para uma adsorção eficaz, o tamanho dos poros deve ser selecionado em função do peso molecular das impurezas a remover.

Carvão granulado ou extrudado é normalmente aplicado como leito filtrante em sistemas de filtração contínuos, nos quais a água entra, passa através do leito de carvão e finalmente sai tratada. Os leitos de carvão são substituídos por novos leitos virgens quando se dá a sua exaustão após determinado tempo de operação do filtro, sendo que esse tipo de carvão pode ser reativado e posteriormente reutilizado.

Sistemas de carvão ativado são utilizados para capturar poluentes perigosos (de líquidos e gases), como toxinas, microcontaminantes, compostos orgânicos e até mesmo alguns metais, entre muitos outros poluentes. A água é purificada para poder ser posteriormente reusada sem causar problemas ao processo e à saúde das pessoas que, eventualmente, tiverem em contato com ela.

8.4.6 Membrana

A membrana pode ser definida como uma película fina que separa duas fases e atua como uma barreira seletiva para o transporte do material. Para a água fluir através de uma membrana, deve haver algum tipo de força motriz, e para aplicações de reúso de água, processos de membrana são tipicamente baseados em pressão. Um resumo da força motriz e tamanho nominal do poro é fornecido a seguir para os principais processos de filtração:

Tabela 2 – Comparação de tipos de filtração e filtração com membranas

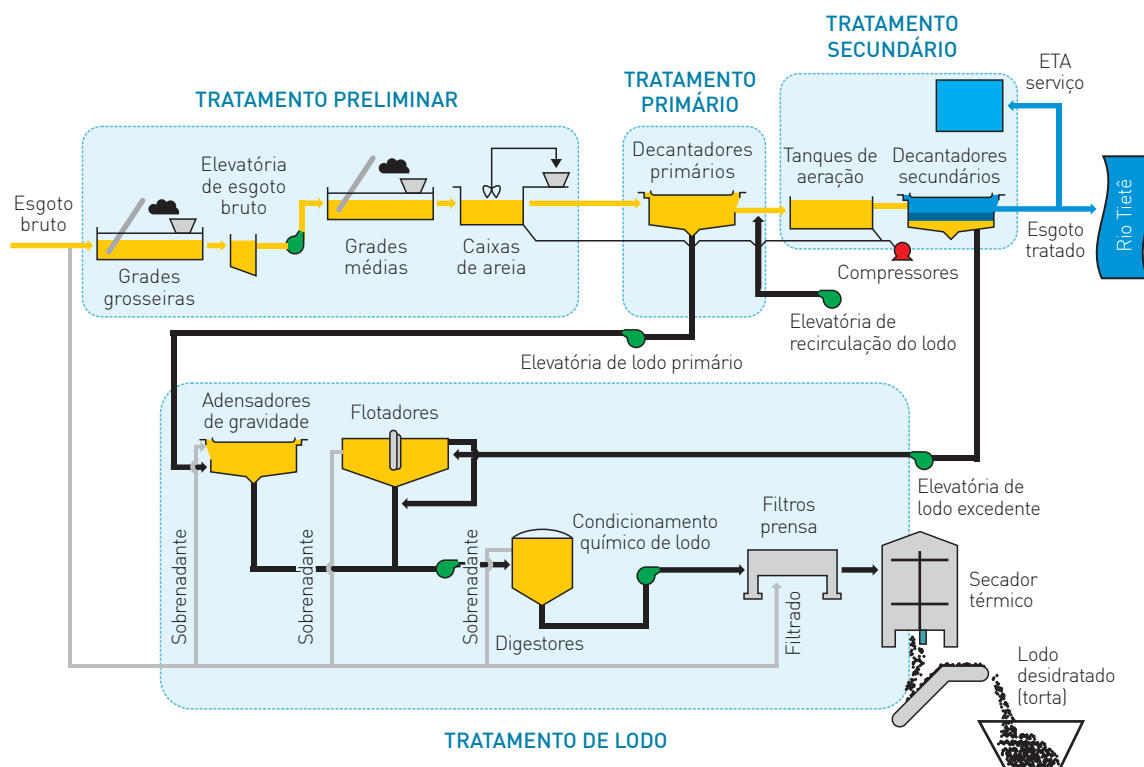
Tipo de filtro	Força motriz de filtração	Tamanho nominal de Poro, μm	Contaminantes alvos de remoção
Profundidade			
Meios não compressíveis	Gravidade ou diferencial de pressão	60-300	Sólidos em suspensão, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários
Meios compressíveis			
Filtração de superfície			
Filtração de superfície	Gravidade	5-20	Sólidos em suspensão, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários
Membrana			
Microfiltração	Diferencial de pressão	0,05	Sólidos em suspensão, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários, algumas bactérias, e vírus
Ultrafiltração	Diferencial de pressão	0,002-0,05	Macromoléculas, colóides, maioria das bactérias, alguns vírus, proteínas
Nanofiltração	Diferencial de pressão	< 0,002	Pequenas moléculas, alguma dureza, vírus
Osmose reversa	Diferencial de pressão	< 0,002	Moléculas muito pequenas, cor, dureza, sulfatos, nitratos, sódio, outros íons.

Fonte: Traduzido e adaptado de EPA (2012).

8.4.7 Biorreator com membrana

A tecnologia de biorreatores com membranas (MBR, do inglês membrane bio-reactor) combina o tratamento biológico a partir de sistema de lodos ativados com o uso de membranas filtrantes de micro e ultrafiltração.

Figura 9 – Diagrama de estação de tratamento de efluentes convencional



Fonte: SABESP ([s.d.]).

Nos sistemas convencionais de lodos ativados, a qualidade do efluente tratado depende de uma série de variáveis: capacidade de mistura, presença de tóxicos, capacidade de aeração, crescimento de bactérias filamentosas, intumescimento do lodo, entre outras hipóteses.

O sistema de biorreatores com membranas funciona de forma complementar aos métodos tradicionais de tratamento. Na primeira etapa, o efluente chega à ETE e passa por um pré-tratamento para a retirada de materiais mais grosseiros, como galhos, pedras e plásticos. Como o sistema MBR não exige a presença de decantador primário, o lodo entra na câmara de aeração, onde é formado e maturado.

Em seguida, o efluente passa para o sistema de membranas de micro ou ultrafiltração, que separa o efluente tratado do lodo.

8.4.8 Ultrafiltração

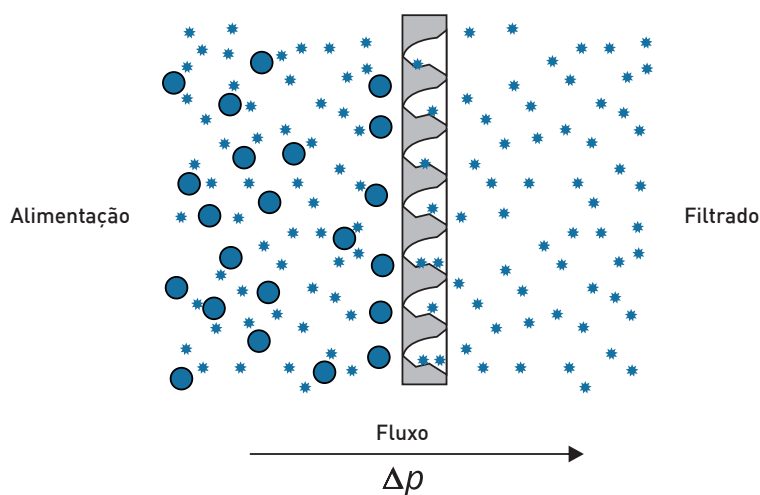
A ultrafiltração (UF) é um processo conduzido por pressão que se utiliza para a eliminação seletiva de matéria em suspensão, partículas, macromoléculas de grande tamanho, matéria coloidal ou microrganismos. A separação depende de diversos fatores como tamanho, carga ou afinidade, ou uma combinação dessas propriedades. As pressões de operação costumam estar na faixa de 0,5 bar a 3 bar, sendo considerada uma tecnologia de membrana de baixa pressão.

Os sistemas de ultrafiltração podem ser encontrados comercialmente em configuração plana, tubular, espiral ou fibra oca. As membranas de ultrafiltração eliminam contaminantes por um mecanismo simples de exclusão por tamanho, e uma diferença de pressão torna possível a operação.

Deve-se considerar que materiais de membrana distintos com peso de corte molecular similar podem apresentar diferentes eficiências de separação. A regularidade na distribuição do tamanho dos poros e a própria química da membrana têm também um papel importante na separação.

Figura 10 – Ilustração esquemática do princípio de ultrafiltração

Fonte: Strathman (2005, p. 434).



As membranas de materiais consistem essencialmente em dois tipos:

- Orgânico – estruturas poliméricas (exemplos: polietersulfona, derivados de celulose, polissulfona, poliamida, poliacrilonitrila, fluoropolímeros);
- Inorgânico – cerâmica (exemplos: alumina, vidro, zircônia)

No tratamento de efluente com objetivo de reúso, as membranas de ultrafiltração são utilizadas principalmente no polimento final de efluente secundário, possibilitando seu reúso para diversos tipos de uso e finalidade. Isso vai depender do tipo de tratamento de efluentes existente, além da qualidade final requerida. No caso de remoção de contaminantes dissolvidos, faz-se necessário acoplar o sistema a um sistema de osmose reversa/nanofiltração, que será discutido no próximo item.

8.4.9 Nanofiltração e osmose reversa

As tecnologias de membranas de osmose reversa (OR) e nanofiltração (NF) são amplamente reconhecidas como opções de processos de remoção de sais em águas e efluentes.

A nanofiltração refere-se a um processo de membrana especial que rejeita partículas na faixa de tamanho aproximado de 1 nanômetro (10 angstroms), daí o termo nanofiltração. Moléculas orgânicas com pesos moleculares superiores a 200-400 são rejeitados. Além disso, os sais dissolvidos são rejeitados na faixa de 20% a 98%.

A membrana semipermeável não permite que o soluto se mova de um compartimento para o outro, mas permite que o solvente faça isso. Quando o solvente se move para fora das áreas de baixa concentração de soluto, essas áreas tornam-se mais concentradas. Por outro lado, quando o solvente move-se para áreas de alta concentração, a concentração de soluto diminuirá. Esse processo é chamado de osmose. A tendência que o solvente tem de fluir através da membrana semipermeável pode ser expressa como “pressão osmótica”.

Na prática, a osmose reversa e a nanofiltração são aplicadas como um processo de filtração de fluxo cruzado. Com uma bomba de alta pressão, a água de alimentação é continuamente bombeada a uma pressão elevada para o sistema de membrana. Dentro dele, a água de alimentação irá ser dividida em uma solução salina purificada, chamada permeado, e uma solução salina concentrada, chamada concentrado ou rejeito.

Fluxo de permeado e rejeição de sal são os parâmetros-chave de desempenho de uma osmose reversa ou um processo de osmose/nanofiltração. Sob condições de referência específicas, fluxo e rejeição são propriedades intrínsecas do desempenho da membrana. O fluxo e a rejeição de um sistema de membrana são influenciados principalmente por parâmetros variáveis, incluindo:

- Pressão;
- Temperatura;
- Recuperação;
- Concentração de sal da água de alimentação.

9. Cases da indústria química

9.1 Case 1 – Reúso de água e captação de água de chuva

Comprometida com a preservação do meio ambiente e a responsabilidade social agregadas ao desenvolvimento econômico, a empresa considera a sustentabilidade como um dos pilares de sua gestão empresarial. Nesse contexto, insere-se o projeto de reúso de água desenvolvido com o intuito de aprimorar o gerenciamento interno desse recurso.

O projeto envolveu investimentos na melhoria da estação de tratamento de efluentes, na construção de tanques subterrâneos de água e na infraestrutura básica de direcionamento do efluente tratado ao processo, bem como na captação e reúso da água de chuva.

Em 1998, iniciou-se o planejamento do projeto, que consistiu das seguintes etapas: levantamento das necessidades da planta quanto à demanda de água, levantamento da disponibilidade de efluente a ser reutilizado, avaliação das características do efluente, estabelecimento de parâmetros desejados e definição do ponto de injeção do efluente.

A implementação foi realizada no período de três anos. Após as etapas de planejamento e construção da infraestrutura básica, iniciou-se efetivamente o reúso do efluente do processo. Após tratamento em uma estação de tratamento de efluentes (ETE), que separa a água de processo de resíduos oriundos do processo industrial, a água é reusada no processo, e o resíduo retirado da ETE passa por um processo de secagem e posterior destinação final.

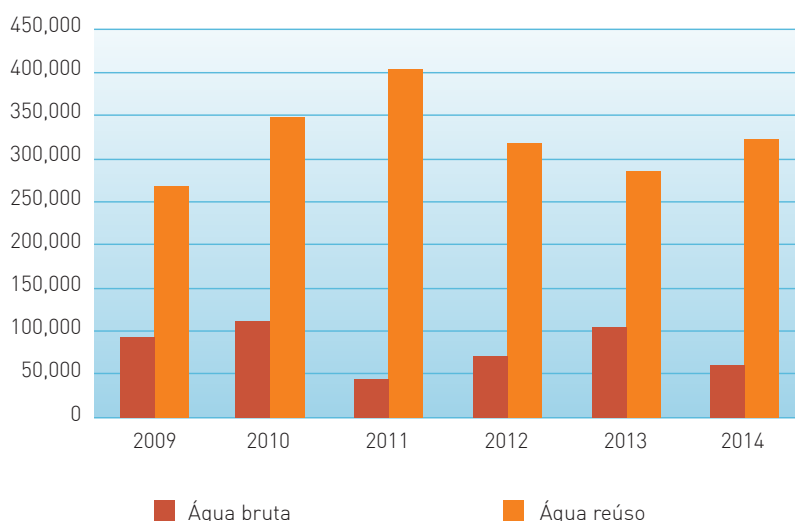
O consumo de água atual é de aproximadamente 300.000 m³/ano, que é recebida da rede de água industrial externa e de poços profundos. Além dessas fontes, ainda há a captação de água de chuva, utilizada para fins industriais.

Em média, de toda a água consumida, de 65% a 80% representam perdas por evaporação, no máximo 1% é agregado ao produto, e de 20% a 35% são efluentes industriais. Todo o efluente é reutilizado no próprio processo industrial.

Importantes resultados vêm sendo obtidos desde a implantação do projeto e sua operacionalização, que representam significativa melhoria na qualidade ambiental da planta e redução do consumo de água bruta da ordem de 30%. Considerando o investimento inicial, o *pay back* foi atingido em 4 anos. Apesar de a empresa ter obtido significativa redução de custo com o projeto, o principal ganho foi, sem dúvida, o ambiental. Os ganhos financeiros foram uma consequência positiva da implantação do projeto.

A Imagem 1 apresenta dados de gestão da água de 2009 a 2014. Apesar do aumento de cerca de 23% na produção da empresa nos 6 anos considerados no gráfico, não houve alteração significativa no consumo de água relativo à produção, que se manteve na média de 5,0 m³/t de produto, o que representa o uso racional da água no período. O percentual de reúso da água atingiu 30% em 2011, mantendo-se, a partir de então, em uma média de 33%.

Imagem 1 – Consumo de água total (m³/ano)



9.1.1 Operacionalização

O efluente é reutilizado no próprio processo industrial, em dois pontos distintos, no próprio reator, que utiliza a água para interromper a reação, de acordo com o tipo de produto a ser produzido, e também no trocador de calor, ao final do reator.

Água industrial

Fica armazenada na segunda parte do reservatório de água geral da planta e corresponde a 30% de todo o volume da parte inferior da caixa de água e recebe água industrial de reúso de uma fonte externa. Abastece todo o sistema de água industrial e de serviço da planta e tem seu nível monitorado por chave de nível. Sua capacidade é de 168 m³. A água industrial armazenada no reservatório é transferida por gravidade para o tanque misturador de água, que recebe também água do tanque de efluentes, água industrial de reposição e do poço artesiano.

O tanque misturador de água, com capacidade de 16 m³, tem seu nível controlado automaticamente, com indicação no painel de controle e alimenta as bombas que mandam água de resfriamento para os trocadores de calor na área de utilidades. Após sair dos trocadores, a água alimenta as bombas de *quench* que fazem o corte da reação nos reatores e o controle de temperatura no *venturi-cooler*. Em caso de parada das bombas de *quench*, haverá vazão mínima no sistema que, embora não seja suficiente para manter as unidades em produção, será suficiente para garantir a purga dos filtros de unidade e fazer resfriamento dos reatores. Além da alimentação das bombas de *quench*, o sistema também alimenta as bombas de água para os peletizadores.

Sistema de efluentes

O sistema de recuperação de efluentes tem por objetivo recuperar a água utilizada na lavagem de áreas da planta que possam estar carregando resíduos da produção na forma de sólidos em suspensão, além da própria água da chuva. A água que chega ao sistema de recuperação provém da área dos silos, da área do prédio de processo, da área do armazém e da área de enlonação de caminhões. Também a água das chuvas que caem nessas áreas são direcionadas para este sistema.

A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é composta de 3 tanques (ou células), sendo que 2 deles são providos de agitadores. Há também 2 bombas, que podem bombear a água do sistema para reaproveitamento no tanque misturador de água.

Tanques de recuperação de água 1 e 2

O tanque de recuperação de água 1 é um reservatório com capacidade de 500 m³, que capta água das áreas de bombas de matéria-prima, almoxarifado, manutenção, sala de controle, utilidades, reatores, área de contratados e administrativo.

O tanque de recuperação de água 2 é um reservatório com capacidade de 273 m³, que capta água das áreas do prédio administrativo, estacionamento, rua do almoxarifado/laboratório e dos diques de matéria-prima.

Caso haja falha ou quebra das bombas, há a possibilidade de instalar uma bomba submersa (bomba-sapo) no sistema, garantindo a recuperação dessa água para o tanque misturador de água ou para o sistema de efluentes.

9.2 Case 2 – Lavador de gases, efluente do processo de osmose reversa e reúso de água no processo produtivo

9.2.1 Reúso de água no processo de lavagem de gases

A empresa possui um sistema para lavagem dos gases gerados durante o processo produtivo de uma de suas plantas industriais. Os gases gerados são aspirados por um ejetor hidráulico que opera com água de reúso – que vem da estação de tratamento de efluentes – como fluido motriz. A utilização do efluente tratado na lavagem dos gases foi viabilizada pelo fato de o processo do lavador permitir a utilização de água com baixos padrões de qualidade no sistema de abatimento de gás.

O fluido motriz resfria a corrente gasosa e provoca a condensação do vapor d'água e de outros compostos gasosos. O efluente líquido residual é encaminhado por gravidade, novamente, para a unidade de tratamento de efluentes líquidos. O gás, livre de impurezas, é direcionado para a atmosfera através de uma chaminé.

A vazão de água usada no sistema de lavagem de gases é de aproximadamente 72 m³/h. O sistema opera durante 10 horas por dia. Ao utilizar água de reúso, evita o consumo de 21.600 m³/mês de água de boa qualidade.

9.2.2 Reúso do efluente descartado do processo de osmose reversa

No processo de tratamento de água pelo sistema de osmose reversa, parte da vazão da água de alimentação do equipamento, aproximadamente 30%, é descartada como efluente. Esse efluente é enviado para a estação de tratamento de água, onde passa por tratamento para posterior utilização como água industrial. A vazão média do efluente descartado do processo de osmose reversa é de 20 m³/h, ou seja, 14.400 m³/mês voltam para a estação de tratamento de água para serem reutilizados no processo industrial.

9.2.3 Reúso de água no processo produtivo e transporte interno de produto

Uma etapa intermediária do processo produtivo da empresa é a chamada “Digestão”, em que o produto passa por fervuras com o intuito de reduzir controladamente o tamanho das fibras. Nesta etapa, ferve-se o produto utilizando injeção de vapor direto como forma de aquecimento. Após fervura, a água é drenada e o produto recebe água nova para seguir no fluxo industrial – a empresa deve sempre transportar o produto em meio aquoso até a última etapa do processo industrial.

A corrente de drenagem passa por etapas de filtração, para recuperar produto que possivelmente tenha escapado do digestor e, após filtração, a água é enviada a um sistema de reúso do tipo “cascata”, recuperando água em série, do ponto de maior qualidade requerida para o ponto de menor qualidade requerida. Essa água é denominada “água de transporte”.

A “água de transporte”, que sai do digestor, é alocada em um tanque e é reusada na etapa à montante da “Digestão”, com o intuito de transportar fibras de produto em meio aquoso até os digestores.

A vazão de água disponibilizada para reúso é de 40 m³/h, o que representa uma redução de até 10% do consumo total de água da fábrica.

9.3 Case 3 – Projetos de reúso de água em empresa intensiva em consumo de recursos hídricos

Uma empresa intensiva em consumo de água percebeu a importância e necessidade de avaliar riscos de escassez hídrica antes de implementar qualquer novo projeto.

Além disso, a empresa iniciou projetos de reúso de água, classificando-os em dois tipos:

- Reúso inerente: projetos de reúso de água que nascem com o projeto da planta industrial;
- Reúso não inerente: projetos de reúso de água oriundos de esforços das plantas industriais, buscando reaproveitamento dos efluentes gerados ou definição de projetos que reaproveitem correntes internas ou externas de água.

Em 2015, o índice de reúso de água da empresa, que engloba reúsos inerentes e não inerentes, foi de 25,1%.

9.3.1 Reaproveitamento de *mix* de água pluvial e efluentes

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de possibilitar o fornecimento de 139 L/s de água provenientes da reutilização de água pluviais e efluentes tratados. A iniciativa tem potencial de reduzir a demanda da empresa por recursos hídricos em 4 bilhões de litros por ano, podendo alcançar, em anos mais chuvosos, o volume de 7 bilhões de litros por ano.

Com o novo sistema, o volume de água poupado pela empresa em seus processos industriais tem o potencial equivalente ao consumo médio diário de água potável de uma cidade com até 150 mil habitantes. O objetivo da empresa é avançar com iniciativas que melhorem a eficiência hídrica dos processos, otimizando a utilização deste recurso cada vez mais escasso no planeta.

Além da economia de água, o projeto possibilita economia de energia elétrica usada para bombeamento e na produção de insumos básicos.

9.3.2 Recuperação de água de condensado

O objetivo do projeto foi reduzir a emissão de efluentes na empresa. Antes do projeto, o consumo de condensado na unidade era inferior à quantidade gerada. Com isso, o vaso de condensado transbordava constantemente (alta vazão de efluente a ser tratado). Além disso, ocasionalmente, o efluente excedia a temperatura especificada, dificultando seu tratamento. Após implantação do projeto, a vazão recuperada de água de condensado foi de aproximadamente 1,4 L/s, possibilitando a redução de 70% na emissão de efluentes líquidos e a redução de 5% no consumo de água clarificada.

9.3.3 Aproveitamento de água de chuva do estacionamento

Uma ação que contribuiu para a redução da geração da vazão do sistema inorgânico da empresa foi a implantação do projeto de aproveitamento da água de chuva do pátio de estacionamento e da área administrativa de serviços compartilhados. Nesse projeto, toda a água de chuva é recolhida e passa por uma caixa separadora para conter possível contaminação leve, se houver, e é direcionada para complementar o volume de reabastecimento (*make up*) do reservatório de segurança. Esse projeto permite um aproveitamento médio anual de 3 L/s de água de chuva.

9.3.4 Integração mássica em torres de resfriamento

Mais de 50% do consumo de água da empresa concentra-se nas torres de resfriamento, que perdem boa parte da água para a atmosfera através de evaporação.

O projeto de integração mássica em torres de resfriamento permite que parte da corrente de purga de uma das torres de resfriamento seja enviada para a bacia de outra torre como volume de reabastecimento. Desta forma, haverá a redução no envio de efluente inorgânico para tratamento e a redução na reposição de água clarificada para a bacia da torre.

Esse alinhamento é possível em função de o sistema de água de resfriamento da primeira torre trabalhar mais desconcentrado que o sistema da segunda torre, por dois motivos principais:

- As perdas líquidas por evaporação são menores na primeira torre;
- A purga da primeira torre normalmente é aberta em função do tempo de residência do dispersante, ou seja, a maioria dos parâmetros possui uma folga nas concentrações em relação à especificação limítrofe.

Este é o conceito da integração mássica: reduzir o consumo de água pura através do reaproveitamento de parcelas de correntes gastas em processos que possuam folga nos gradientes de concentração dos poluentes (sais inorgânicos e microrganismos, neste caso). A vazão de reúso a ser enviada para a primeira torre dependerá do comportamento das concentrações dos solutos em ambas as torres, tendo acompanhamento e análise crítica diária da prestadora de serviços de tratamento de água.

O projeto prevê redução de custos através da redução de envio de aproximadamente 10 m³/h de efluente inorgânico, redução do make up de água clarificada na primeira torre em 10 m³/h.

A prestadora de serviços de tratamento de água mantém o acompanhamento diário das variáveis de processo referentes ao reúso, indicando os movimentos necessários para que se mantenham enquadrados os parâmetros da água de resfriamento. Estas recomendações são repassadas via relatório diário de acompanhamento. A prestadora de serviços de tratamento de água indica no relatório a vazão de purga que deve ser mantida na segunda torre (purga para a estação de tratamento) e a vazão de reúso que deve ser mantida para a primeira torre. A purga total da segunda torre é a composição das duas correntes.

9.3.5 Projeto Ciclo Máximo

A empresa desenvolveu o Projeto Ciclo Máximo, que consiste em aumentar ao máximo o ciclo de concentração de suas torres de resfriamento e com isso reduzir o *make up*. O projeto consiste basicamente em controlar e otimizar a adição de produtos químicos nas torres, além de intensificar o controle da qualidade da água de *make up*. Assim, a empresa conseguiu aumentar seu ciclo de concentração de projeto de 4 para 15 vezes. Em 2015, esse aumento do ciclo de concentração gerou uma economia de água na ordem de 1,16 milhões de metros cúbicos.

9.3.6 Redução de consumo

A empresa entende que, além de pensar em reúso de água, é importante mapear e avaliar todos os principais pontos de consumo e tentar otimizá-los. Algumas iniciativas que tiveram por objetivo melhorar a eficiência hídrica da empresa:

Região A

Melhoria de torres de resfriamento, medição, purgadores e eliminação de perdas físicas, no período de 2013 a 2015, que propiciaram a redução de 23% na vazão média de captação de água do rio, 19% de melhoria do índice de consumo de água e 14% de redução do índice de geração de efluentes líquidos.

Região B

1. Projeto de recuperação de água de resfriamento dos analisadores dos fornos de pirólise de olefinas, que permitiu uma redução de 0,014 m³/t no índice de efluente.
2. Em função da melhor qualidade da água adquirida de reúso externo, foi possível:
 - Recuperar a água proveniente do tratamento de água de caldeiras, fornos e analisadores, em aproximadamente 10 m³/h;
 - Elevar o número de ciclos de concentração nas torres de resfriamento. Em 2013, eram 5 os ciclos de concentração, em 2015, passaram a ser 8,3 ciclos, permitindo economia de 56 m³/h;
 - Utilizar o rejeito da osmose reversa na torre de resfriamento;
 - Reutilizar o efluente industrial como água de serviço na planta;
 - Reduzir o *blow down* no vaso gerador de vapor de diluição e nos fornos de craqueamento na área de olefinas;

- Retornar o *blow down* dos fornos para o sistema de água de refrigeração, ao invés de drenar para as canaletas;
 - Reduzir o uso de água de resfriamento nos potes de decoque dos fornos.
3. Foi eliminado o uso de 139 m³/ano de água potável no laboratório de controle de qualidade.

Região C

Implantação de projeto de reúso de água de selagem das extrusoras permitiu reutilização de 110 m³ por dia, além de promover a redução de 62 m³ por dia de água desmineralizada.

A empresa acompanha seu desempenho hídrico através de um indicador que correlaciona o consumo de água com a quantidade de produto vendido (eficiência). Em 2015, a empresa teve um de seus melhores resultados históricos em função dessas iniciativas.

9.4 Case 4 – O Programa de Incentivo ao Produtor de Água

Desde 2010, por meio da Secretaria de Agricultura e Secretaria de Meio Ambiente, a cidade de Guaratinguetá desenvolve iniciativas de incentivo aos proprietários rurais que realizam a conservação do solo, a restauração florestal e a conservação das florestas existentes em suas propriedades. Realizado por meio de uma parceria público-privada com a Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, o Programa de Incentivo ao Produtor de Água de Guaratinguetá se enquadra entre os beneficiários do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Os PSAs são mecanismos para incentivar a restauração ou conservação de bens ecossistêmicos. De forma simplificada, significa oferecer um benefício econômico para aqueles que contribuem para a proteção do meio ambiente.

O Programa Produtor de Água é um conceito, criado em 2001 pela Agência Nacional de Águas (ANA), voltado à proteção hídrica no Brasil. A iniciativa estimula práticas conservacionistas em propriedades rurais com o objetivo de melhorar a qualidade da água e aumentar sua vazão, revitalizando as bacias hidrográficas. O Programa remunera o produtor rural com valores proporcionais aos serviços ambientais prestados, que beneficiam a sociedade, além de oferecer assistência técnica para a recuperação ambiental da propriedade. A iniciativa apoia projetos que busquem reduzir a erosão e o assoreamento de mananciais no meio rural em parceria com instituições públicas, privadas ou com organizações do terceiro setor. Em contrapartida, cada proprietário recebe uma quantia anual proporcional à área restaurada dentro de sua propriedade.

Em Guaratinguetá, desde o início do programa cerca de 50 proprietários rurais já foram beneficiados, representando cerca de 250 hectares de floresta protegidos. As propriedades beneficiadas fazem parte da bacia hidrográfica do Ribeirão Guaratinguetá, responsável por 90% do abastecimento público de água do município.

Os recursos são oriundos de um fundo com recursos da Prefeitura Municipal e dos parceiros da iniciativa: Corredor Ecológico do Vale do Paraíba, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo (EDR/Guaratinguetá), Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG) e Agência Nacional de Águas (ANA) e empresa parceira.

A empresa parceira é responsável pelo pagamento dos produtores e pela aplicação do programa nas propriedades rurais. Já a Prefeitura se encarrega do relacionamento com os proprietários envolvidos e acompanhamento técnico das ações ambientais realizadas. A água é um bem precioso do planeta, por isso é possível afirmar que, com ações para redução do uso desse recurso e proteção dos mananciais, será possível garantir um futuro melhor para todos.

Iniciativas como esta beneficiam toda a sociedade na busca por recursos hídricos, em quantidade e qualidade. A empresa coordenadora do Programa confia nessa premissa e acredita que a manutenção das ações de conservação de solo, recuperação de novas Áreas de Proteção Permanente (APPs) e o saneamento rural são fundamentais para o desenvolvimento sustentável e responsável da sociedade.

O Programa de Incentivo ao Produtor de Água de Guaratinguetá é um exemplo concreto de sucesso de uma parceria público-privada na modalidade pagamento por serviços ambientais.

Referências bibliográficas

ABIQUIM ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Indicadores de Desempenho: Programa Atuação Responsável® ano-base 2015. São Paulo: Abiquim, 2016.

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Disponibilidade e demanda de Recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2007. (Cadernos de Recursos Hídricos, v. 2).

_____. **Atlas Brasil:** abastecimento urbano de água – panorama nacional. Brasília: ANA, 2010. v. 1.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil:** 2013. Brasília: ANA, 2013.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil:** Informe 2014. Brasília: ANA, 2015.

CEBDS CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Riscos Climáticos:** como o setor empresarial está se adaptando. Rio de Janeiro, 2015.

CNI CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Água, Indústria e Sustentabilidade.** Brasília, 2013.

COLGAN, S. The use of Oxystrong® in Sewage Effluent Treatment. SOLVAY. Inglaterra. Agosto, 2001

EPA U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. Washington, D.C, Sep. 2012.

FIESP FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reúso de água:** manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, 2004.

GAUTO, Marcelo; ROSA, Gilber. **Química Industrial.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

INFRAESTRUTURA URBANA. São Paulo, n. 19, out. 2012.

MEIO FILTRANTE. Santo André, n. 1, abr./maio 2002.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria:** uso racional e reúso. São Paulo: Oficina dos Textos, 2005.

OECD ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Environmental Outlook to 2050:** The Consequences of Inaction. Paris: OECD Publishing, 2012.

SABESP COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tratamento_esgoto.gif.** Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/site/tratamento_esgoto.gif/%24File/tratamento_esgoto.gif?OpenElement>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SILVA, Maurício Kipper da. **Biorreatores com Membranas:** uma alternativa para o tratamento de efluentes. 2009. Tese (Doutorado)–Departamento de Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

STRATHMANN, Heinrich. Membranes and Membrane Separation Processes. In: ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY. 30 Apr. 2005.

THE DOW CHEMICAL COMPANY. **FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes:** Technical Manual. 2015.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011.

VIANNA, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 3ª edição. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997

WATERWORKS. **Osmose reversa**. 2009. Disponível em: <http://www.waterworks.com.br/osmosereversa_tecnologia.html> Acesso em: 10 jul. 2016.

Créditos iconográficos

Acervo Cabot p. 33.

Áreas Abiquim

Fernando Figueiredo

Presidente-executivo

Andrea Carla Barreto Cunha

Diretora de Assuntos Técnicos

Denise Mazzaro Naranjo

Diretora de Assuntos de Comércio Exterior

Fátima Giovanna Coviello Ferreira

Diretora de Economia e Estatística

Marina Rocchi Martins Mattar

Diretora de Relações Institucionais e Sustentabilidade

Camila Matos

Gerente de Comunicação

César Augusto da Costa Lima

Gerente de Administração e Finanças

Éder da Silva

Gerente de Assuntos de Comércio Exterior

Fernando Correia de Moraes Tibau

Gerente de Inovação e Assuntos Regulatórios

Luiz Shizuo Harayashiki

Gerente de Gestão Empresarial







QUÍMICA PRESENTE NA CONSTRUÇÃO DO FUTURO.

Av. Chedid Jafet, 222, Bloco C - 4º andar
Vila Olímpia, São Paulo - Cep: 04551-065
Fone: 11 2148-4700 | Fax: 11 2148 4760
www.abiquim.org.br