

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO, PESQUISA E
DESENVOLVIMENTO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Instituto de Tecnologia em Fármacos

Fundação Oswaldo Cruz

Barbara de Azevedo Scangarelli de Andrade

**Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada
na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-
Manguinhos/FIOCRUZ**

Rio de Janeiro

2014

Barbara de Azevedo Scangarelli de Andrade

**Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada
na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-
Manguinhos/FIOCRUZ**

Dissertação apresentada, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica, do Instituto de Tecnologia em Fármacos - FIOCRUZ.

Orientadores: Prof. Dr Paulo Sergio Bergo de Lacerda
Prof. Dr Jaime Lopes da Mota Oliveira

Rio de Janeiro

2014

Barbara de Azevedo Scangarelli de Andrade

Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ

Dissertação apresentada, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica, do Instituto de Tecnologia em Fármacos – Fundação Oswaldo Cruz

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Sergio Bergo de Lacerda
(Instituto de Tecnologia em Fármacos - FIOCRUZ)

Prof. Dr. Jaime Lopes da Mota Oliveira
(Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca - FIOCRUZ)

Prof. Dr. Antonio Carlos Augusto da Costa
(Instituto de Química - UERJ)

Prof. Dr. Leonardo Lucchetti Caetano da Silva
(Instituto de Tecnologia em Fármacos - FIOCRUZ)

Prof. Dra. Juacyara Carbonelli Campos
(Escola de Química - UFRJ)

Rio de Janeiro

2014

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Medicamentos e Fitomedicamentos/ Farmanguinhos / FIOCRUZ - RJ

A553r Andrade, Barbara de Azevedo Scangarelli

Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ. / Barbara de Azevedo Scangarelli de Andrade. – Rio de Janeiro, 2014.

74f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Bergo de Lacerda

Co-orientador: Prof. Dr. Jaime Lopes da Mota Oliveira

Dissertação (mestrado) – Instituto de Tecnologia em Fármacos – Farmanguinhos, Pós-graduação em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica, 2014.

Bibliografia: f. 65-74

1. Reúso de água. 2. Economia de água. 3. Reúso industrial de Água. 4. Indústria de imunobiológicos. 5. Indústria Farmacêutica.
I. Título.

CDD 658.562

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Barbara de A. Scangarelli de Andrade

Data

DEDICATÓRIA

À Deus, pela misericórdia.

Aos meus pais Mario G. Scangarelli (*in memoriam*) e Suara de Azevedo Rodrigues pela formação do meu caráter, educação e cultura.

Aos meus filhos Maria Eduarda e Luis Felipe pelo estímulo e motivação.

AGRADECIMENTOS

A minha família pela paciência nos períodos de ausência e apoio incondicional em todos os momentos e por sempre terem acreditado em meu potencial para chegar aonde cheguei. Amo vocês!

Aos meus irmãos Mario Augusto Scangarelli e João Paulo Pinto pelo apoio incondicional.

Aos meus orientadores Paulo Sergio Bergo pelas críticas construtivas e incentivos e Jaime Oliveira pela construção deste trabalho desde sua concepção intelectual até nos momentos de bancada... um muito obrigada de coração, pois sem vocês este trabalho não poderia ter sido concluído.

Aos professores desta banca que saíram de seus laboratórios e se empenharam desde a qualificação, para o engrandecimento desta dissertação.

Aos professores do Mestrado Profissional de Farmanguinhos pelo empenho, assiduidade, carinho e conteúdo intelectual.

Ao diretor de Bio-Manguinhos Artur Couto por ter me incentivado neste estudo de caso e minha vice-diretora Maria da Luz Leal pelas liberações às quintas-feiras.

A minha ex-chefe de departamento Rita de Cássia Elias Benedetti por acreditar em meu potencial e ser meu anjo na Terra. Atualmente, Marília Stella Belart e Vinícius Alves Pessanha pelo carinho e compreensão das ausências.

Aos meus queridos colegas: Marcelo Mancebo que me abriu a mente e os olhos para este tema; Arivaldo pelas informações técnicas relevantes neste trabalho; Leandro Gomes pelo estímulo e dados; Jorge Eduardo pelas informações; Eliene Raposo por me emprestar seu laboratório e seus funcionários Eduardo e Fábio para os experimentos iniciais; Leonardo Medeiros e Daniel Areas pela liberação de equipamentos para as análises finais e Lourena pelas análises de COT; Neide Cotias e Vitória pelo apoio ao estudo; Ana Paula Florêncio pela imensa ajuda; Jorge Ricardo pelo constante carinho e estímulo nas horas de cansaço; Elô pelas análises cromatográficas, Sandra Ferreira e Ana Rodrigues do Saneamento da ENSP.

Norton, Fernando Ávila, Flavio Ramos e aos colegas da COPREST: Nilcio pelas coletas mais impossíveis nas áreas, Ismael, Eduardo (DEVIR) e Roberto por todo o apoio, confiança e dedicação. Neste momento, sou a porta voz de vocês!

As minhas irmãs de coração: Bianca Lobo pelo estímulo e pelo crédito dado aos meus experimentos, Alessandra Barreto pela força, Elisangela pelas orações e paciência, Aline Louzada pela força e foco todos os dias pela manhã, Fernanda Juncá, Alê Casaes e Cris Marcondes pelas palavras de carinho...Sem falar dos meus "irmãos": Alexandre Assen, Vlad, Marcus Vinícius Antunes pelas palavras de incentivo...Paulo Vicente pelas orações e apoio nos momentos mais difíceis.

As minhas irmãs de oração que entraram com suas armas para lutar contra qualquer impedimento e clamar pela minha vitória: Pastora Edna, Pastora Tania, Arlete Ruas, Edna, Elisa, Maria Primo, Michelle Sezinando, Adair, Lúcia e todas da Restaurando Vidas.

Às minhas amigas que reclamaram muito deste período final, mas souberam, mesmo sem entender que a distância era necessária...Vamos rir muito disso depois....

À todas as pessoas especiais que contribuíram de alguma maneira e me incentivaram, torceram por mim e estiveram sempre ao meu lado seja qual fosse a ocasião.

Ainda que seus passos pareçam inúteis; vá abrindo caminhos como a água que desce cantando da montanha. Outros te seguirão....

Antoine de Saint-Exupery

RESUMO

Andrade, Barbara de Azevedo Scangarelli. *Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ*. 2014. 74f. Dissertação Mestrado Profissional em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2014.

Um dos maiores problemas ambientais é a preocupação mundial com a manutenção da qualidade da água para o uso humano. O seu uso intensivo nos setores agrícolas e industriais tem reduzido a sua disponibilidade para o uso doméstico. Uma das alternativas para a redução da extração de água e da poluição hídrica é a prática do reúso. Embora o Brasil não possua uma legislação específica que incentive essa prática, algumas indústrias já possuem em sua política interna o reúso e/ou recuperação de água para a redução de seus custos de fornecimento e de descarte de águas residuárias. Este trabalho estudou a viabilidade de reúso direto das águas residuárias industriais provenientes do processo de produção de água purificada por osmose reversa do Centro Tecnológico de Vacinas (CTV) de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ. Foi realizado um levantamento do consumo, da qualidade e do custo da água que abastece os diferentes setores do CTV bem como a qualidade e a quantidade dos rejeitos do sistema de osmose reversa (P1), do analisador de COT (P2) e do gerador de ozônio (P3). Embora esse assunto seja importante no âmbito ambiental, econômico e social, poucos artigos científicos foram encontrados nos principais bancos de dados consultados, principalmente nos termos de reúso direto no setor industrial farmacêutico. A produção de água purificada é a atividade que demanda maior quantidade de água seguida pelas torres de resfriamento e pela produção de vapor industrial. A qualidade dos rejeitos da osmose reversa foi superior a água que abastece os sistemas de refrigeração, além disso, o volume descartado equivale ao necessário para atender às necessidades desses sistemas. A redução no consumo estimado com a aplicação deste projeto poderá ser de até 17% de toda água consumida pelo CTV correspondendo a uma economia bruta direta em torno de R\$ 500.000,00 por ano.

Palavras-chave: Reúso de Água. Economia de Água. Reúso Industrial de Água. Indústria de Imunobiológicos. Indústria Farmacêutica.

ABSTRACT

Andrade, Barbara de Azevedo Scangarelli. *Reúso de efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada na Central de Tratamento de Água do Centro Tecnológico de Vacinas de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ*. 2014. 74f. Dissertação Mestrado Profissional em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2014.

The great environmental problem is a worldwide preoccupation with maintaining the water quality for human use. Its intensive use in the agricultural and industrial sectors has reduced its availability for domestic use. An alternative to reduce of water extraction and pollution is the reuse practice. Although Brazil has no specific legislation that encourages this practice, some industries already have in their internal politics for water reuse and/or recovery to reduce their costs of supply and disposal of wastewater. This work studied the feasibility of direct reuse of industries wastewater from the water purified production process by reverse osmosis of the Technological Centre Vaccines (TCV) in Bio-Manguinhos/FIOCRUZ. A survey of consumption, quality and cost of water supplied to different sectors of the CTV and the quality and quantity of the wastewater of Reverse Osmosis System (P1), the TOC analyzer (P2) and the ozone generator (P3). Although this issue is important in environmental, economic and social context, few articles were found in the main banks of data consulted, especially in terms of direct reuse in the pharmaceutical industry. The production of purified water is the activity that demands more water followed by cooling towers and the production of industrial steam. The quality of the wastewater from the reverse osmosis was superior to that water that supplies cooling systems, furthermore, the volume discarded equal to that necessary to meet the needs of these systems. The reduction in the estimated consumption with the application of this project may be up to 17% of all water consumed by CTV corresponding to a direct gross savings of around R\$ 500,000.00 per year.

Keywords: Water reuse. Economy of water. Industrial Reuse of Water. Immunobiological industry. Pharmaceutical industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de água no planeta.....	20
Figura 2 – Distribuição de água nos continentes	20
Figura 3 – Distribuição Hídrica no Brasil	22
Figura 4 – A água e seus diferentes usos.....	23
Figura 5 – Matriz institucional do sistema nacional de gerenciamento de recursos Hídricos	33
Figura 6 – Diagrama simplificado da produção de água abrandada e purificada no CTV mostrando os pontos de água residuária industrial onde P1 é o descarte da osmose reversa (concentrado), P2 o descarte do analisador de carbono orgânico total (COT) e P3 o descarte do analisador de ozônio.....	46
Figura 7 – Sistema semi-aberto com recirculação representando as torres instaladas na CTV	47
Figura 8 – Esquema básico de funcionamento de uma caldeira instalada no CTV	48
Figura 9 – Consumo de água potável no CTV.....	53
Figura10 – Proposta de Reúso de Água de Rejeito do Osmose Reversa no CTV	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reúso de água na indústria.....	24
Tabela 2 – Usos das águas em Indústria de Imunobiológicos.....	27
Tabela 3– Especificações das principais águas utilizadas nas indústrias farmacêuticas.....	29
Tabela 4 - Custos das águas nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.....	30
Tabela 5 – Utilidades e seus fins industriais.....	39
Tabela 6 – Substâncias causadoras de problemas em Torres de Resfriamento.....	40
Tabela 7 – Qualidade da água das torres de resfriamento e caldeiras.....	42
Tabela 8 – Determinação da alcalinidade associada à hidroxila, carbonatos e bicarbonatos.....	51
Tabela 9 – Resultados analíticos de água abrandada e purificada na CTA DEPMI PW	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	American Public Health Association
BRS	Bactérias Redutoras de Sulfato
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CIESP	Confederação das Indústrias do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CTA	Central de Tratamento de Água
CTV	Centro Tecnológico de Vacinas
DEPEM	Departamento de Engenharia
DEPFI	Departamento de Processamento Final
EDI	Eletrodeionização
ENSP	Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MS	Ministério da Saúde
OH ⁻	Radical de Hidroxila
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
OR	Osmose Reversa
P1	Efluente da Osmose Reversa
P2	Efluente do analisador de COT
P3	Efluente do analisador de Ozônio
PCA	Plate Count Agar
PBS	Phosphate-Buffered Saline
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNMA	Programa Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Programa Nacional de Recursos Hídricos
PW	Água purificada
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
RJ	Rio de Janeiro
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNGRH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
UFC	Unidade Formadora de Colônia

UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
USEPA	United States of Environmental Protection Agency
USP	The United States Pharmacopoeia
UV	Ultravioleta
VP	Vapor puro
WFI	Água para injetáveis

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	17
2 - REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 – A importância da água	19
2.2 – A gestão da água nas indústrias	22
2.2.1 – A água nas indústrias farmacêuticas e de imunobiológicos	25
2.2.2 – Custo da Água para a Indústria Farmacêutica e de Imunobiológicos	29
2.3 – Ações legais de incentivo ao reúso	31
2.4 – Definições de reúso	35
2.5 – A Água utilizada nas Torres de Resfriamento e nas Caldeiras	38
3- OBJETIVOS	43
3.1 – Objetivo Geral	43
3.2 – Objetivos Específicos	43
4 – MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1 – Pesquisa Bibliográfica	44
4.2 – Área de Estudo	44
4.3 – Consumo e custo de água nos setores do CTV	48
4.4 - Análises qualitativas da água em torres de resfriamento e caldeiras	49
4.5 – Coleta e medição da vazão da água residuária industrial	49
4.6 – Metodologia analítica para P1, P2 e P3	50
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 – Pesquisa Bibliográfica	52
5.2 – Consumo e custo da água no CTV	52
5.3 – As águas residuárias e as de alimentação das torres de resfriamento e das caldeiras do CTV	55
6 – CONCLUSÃO	63
7 – REFERENCIAS	64

1- INTRODUÇÃO

A água é o elemento fundamental para a manutenção da vida de todas as espécies; no entanto, aquela considerada própria para o consumo humano corresponde a menos de 1% das reservas do planeta (BRASIL, 2005). Segundo a ONU, aproximadamente 60% das pessoas no mundo poderão sofrer de escassez moderada ou grave de água até 2025 (ONU, 2005). Apesar de o Brasil possuir o maior depósito de água doce no mundo, deve estar atento às questões de sua escassez. Logo, a manutenção da qualidade da água e as medidas para evitar o seu desperdício são ferramentas importantes a serem implementadas.

No geral, o maior uso de água é na irrigação, consumindo aproximadamente 70%. O restante é basicamente utilizado pelas atividades industriais tanto para o uso direto na fabricação de seus produtos como indireto na geração de energia em utilidades (REBOUÇAS, 2003). Na tentativa de minimizar os elevados custos dos usos das águas e a escassez de oferta, vários setores têm desenvolvido práticas e processos de reúso, recuperação e reciclagem da água para diferentes fins (HESPANHOL *et al*, 2002). Essa água pode ter distintas aplicações tais como: irrigação agrícola, limpeza urbana, recreação, além do uso em alguns processos industriais como torres de refrigeração e caldeiras (BIXIO *et al*. 2008). No entanto, no Brasil a prática do reúso e/ou recuperação da água nas indústrias ainda é insuficiente e, quando existente, são iniciativas do setor privado. A Agência Nacional de Água (ANA) através da Lei das Águas (BRASIL, 1997) passou a cobrar tanto pelo uso das águas dos mananciais como pelo despejo de efluentes nas bacias hidrográficas como parte integrante do modelo de sistema de gestão auto-sustentável dos recursos hídricos. Essa medida forçou o setor industrial a implantação da prática de reúso e/ou reciclagem da água, reduzindo a sua captação bem como o descarte de efluentes. Hespanhol *et al* (2002) publicaram um estudo que evidenciou que o custo da água industrial na região metropolitana de São Paulo caiu de R\$ 9,69 para R\$ 2,00 o metro cúbico quando suas utilidades passaram a ser abastecidas com a água de reúso.

Na indústria farmacêutica assim como na produção de imunobiológicos, a água é a principal matéria-prima utilizada em soluções, suspensões, vacinas, biofármacos e

formulações de medicamentos. Ela pode ainda ser usada como coadjuvante participando dos processos, mas sem ser incorporado ao produto, em processos de produção, preparo de reagentes (análises do controle de qualidade), lavagem de frascos e peças, produção de vapor industrial e puro, em caldeiras e torres de resfriamento. Além disso, a água também pode ser usada em jardinagem, lavagens das áreas internas e externas, cozinhas, vestiários, banheiros e procedimentos de engenharia civil e manutenção (CASANI, ROUHANY e KNOCHEL, 2005). Um dos prováveis focos do reúso de água neste setor está nas torres de resfriamento e/ou nas caldeiras de vapor industrial. Estima-se que essas utilidades consomem 70% de toda a água que entra no setor industrial (MACHADO, 2004); no entanto, em se tratando de indústria de imunobiológicos este consumo ainda é pouco conhecido.

Este trabalho estudou a viabilidade do reúso de efluente industrial gerado pelos sistemas de produção de água purificada nas torres de refrigeração e/ou caldeiras de vapor industrial no Centro de Tecnologia de Imunobiológicos (CTV) em Bio-Manguinhos/FIOCRUZ. Segundo a extensa revisão bibliográfica realizada, pouco se tem publicado sobre este assunto onde o foco é a reciclagem direta dos efluentes gerados na CTA em outros setores na própria indústria farmacêutica, como as utilidades.

Inicialmente, foram verificadas, através de relatórios analíticos internos, as características da água que abastece as torres de resfriamento e as caldeiras de vapor industrial no CTV bem como o volume gasto nestes processos. Em seguida, foram verificadas a quantidade e a qualidade do sistema de osmose reversa (P1), do analisador de COT (P2) e do gerador de ozônio (P3) durante a produção de água purificada na Central de Tratamento de Águas para avaliar a possibilidade de sua reciclagem direta. Por fim, foi estimada a redução do custo bruto pela indústria em relação à utilização das águas residuárias descartadas por estes sistemas (P1, P2 e P3) em suas utilidades (torres de resfriamento e caldeiras de vapor industrial).

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A Importância da Água

A manutenção da biodiversidade no planeta Terra se deve principalmente à presença e à abundância de água. Todos os organismos dependem deste recurso para sua sobrevivência, mas as diversas formas de vida estão adaptadas às mudanças na qualidade e na quantidade dos diferentes tipos de água. Existem espécies capazes de sobreviver em ambientes secos e desérticos e outras adaptadas a águas hipersalinas. Desse modo, a água, independente de sua qualidade e quantidade, é responsável pela manutenção de diferentes formas de vida. Além disso, a água possui papel fundamental na determinação do clima do planeta onde a sua evaporação forma as nuvens e as geleiras montanhosas, enquanto que a sua precipitação favorece o preenchimento dos reservatórios, rios e recarga de aquíferos subterrâneos. Apesar deste recurso naturalmente ser renovável, a manutenção de sua qualidade para a sobrevivência da espécie humana está reduzida. O homem, por exemplo, necessita de água doce dentro de certos padrões de qualidade e a manutenção de sua vida requer uma quantidade em torno de 70% de seu peso corpóreo. Embora o planeta detenha o título de “Planeta Água”, a maior parte desta água doce está nas geleiras polares, onde menos de 1% está nos rios e nos leitos subterrâneos como mostra a Figura 1 (pág. 20). Assim, a água sempre estará fazendo parte do planeta, mas a depreciação de sua qualidade pode comprometer a sobrevivência humana (BRASIL, 2005).

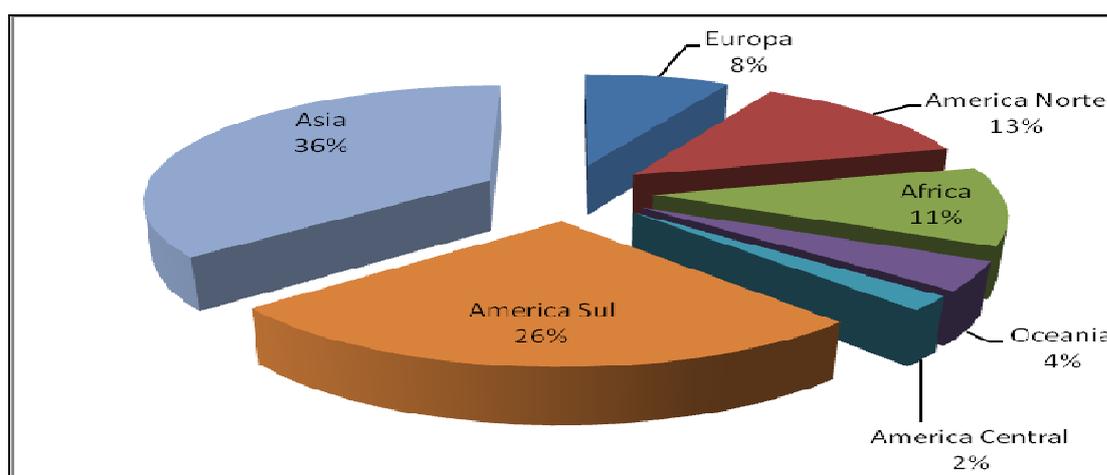
A distribuição da água no planeta é bastante desigual. O continente africano conta com 11% dos recursos mundiais de água potável e estima-se que cerca de 230 milhões de africanos sofrerão pela falta de água até 2025 (ONU, 2005). A América Latina é a região com maior abundância possuindo as bacias Amazônica, Orinoco, São Francisco, Paraná, Paraguai e Magdalena compreendendo cerca de 30% da água doce superficial do planeta como mostra a Figura 2 (pág. 20) (HELLER e PÁDUA, 2006).

Figura 1. Distribuição de água no planeta



Fonte: UNESCO e WWAP (2003)

Figura 2. Distribuição de água nos continentes



Fonte: FAO-AQUAT (2014).

A dificuldade pela geração de uma água com qualidade para suprir as necessidades humanas vem aumentando a cada ano. O crescimento da população global previsto de 2 a 3 bilhões de pessoas nos próximos 40 anos combinado a mudanças de alimentação, pode resultar em um aumento substancial de escassez por alimentos (WWAP, 2013). Com o aumento esperado da população até 2030, a demanda por alimentos deve aumentar em 50% (BRUINSMA, 2009), enquanto a demanda por energia hidrelétrica e de outras fontes renováveis aumentará em 60%

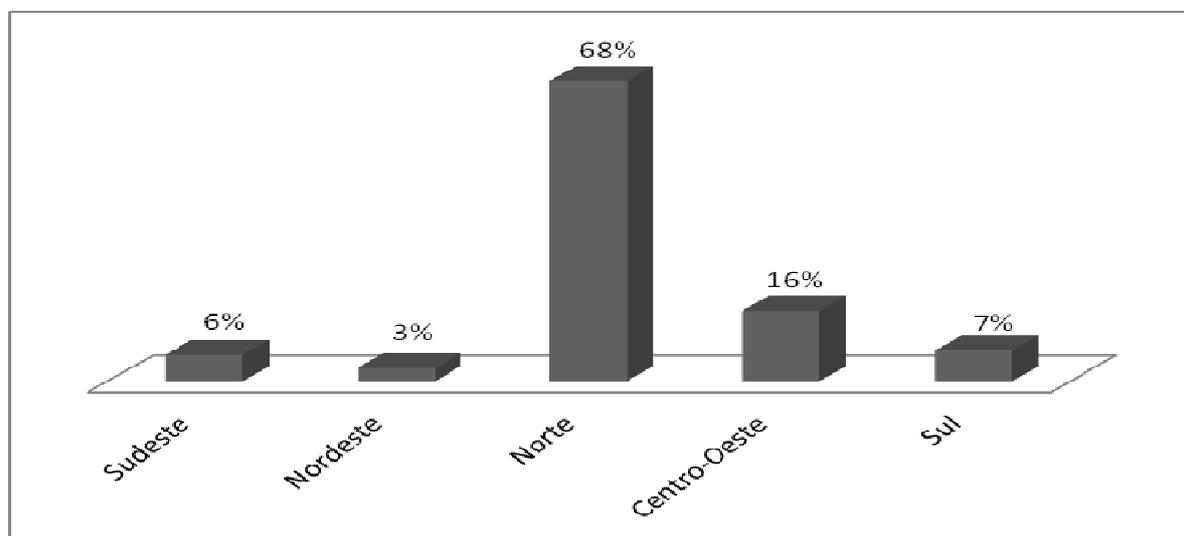
(WWAP, 2009). Essas questões são interconectadas com o possível aumento da produção agrícola que elevaria substancialmente o consumo tanto de água quanto de energia, levando a uma disputa cada vez maior entre os setores consumidores de água (ONU, 2013). Cerca de um quarto da população latina e caribenha vive em regiões de baixa demanda de água. A Europa consome diariamente 300 litros de água por habitante, ou seja, duas vezes menos que nos EUA e no Japão e 20 vezes mais que na África. Cerca de 20% da população espanhola, chiprina, maltanesa e italiana vive com escassez de água. A região norte-americana possui a maior cobertura de abastecimento de água e de saneamento do mundo enquanto que o oriente médio conta com menos de 1% da água doce disponível no mundo abarcando cerca de 5% de toda população mundial. Com isso, os desafios em relação à falta de água são enormes, logo a perda de sua qualidade e a falta de saneamento podem ser os principais agravantes desta situação caótica (HELLER e DE PÁDUA, 2006).

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997), *“a água é considerada um bem não renovável, de domínio público, dotado de valor e sua prioridade é o uso para a manutenção da vida humana e dessedentação de animais”*, apesar disso, os maiores usos da água (usos consuntivos) estão nas atividades agropecuárias e industriais (HESPANHOL e GONÇALVES, 2006). O continente asiático, por exemplo, utiliza 86% dos seus recursos hídricos na agricultura, 8% nas atividades industriais e 6% para uso doméstico; nos Estados Unidos, 49% da sua água doce são usadas na agricultura, 42% na Indústria e o restante de uso doméstico; enquanto que no Brasil, 60% são destinados ao uso da agricultura, 27% ao industrial e 13% à doméstico (HELLER e DE PÁDUA, 2006). Isto mostra a irregularidade de seu uso bem como ao não cumprimento na definição do uso de água para a manutenção da vida humana (BRASIL, 1997).

Em termos de vazão média por habitante, o Brasil é considerado um país rico em recursos hídricos, com 33 mil m³/hab/ano (UNESCO, 2002), mas a sua distribuição entre as regiões brasileiras é bastante desigual. Como mostra a Figura 3, as mais baixas taxas de distribuição estão na região Nordeste, seguida da Sudeste e da Sul onde representam as maiores concentrações populacionais do país (SILVA

JUNIOR, 2009). Além disso, os locais com maior potencial industrial estão localizados nas regiões com menor disponibilidade hídrica.

Figura 3. Distribuição Hídrica no Brasil



Fonte: SIGAM - AMBIENTE (2010)

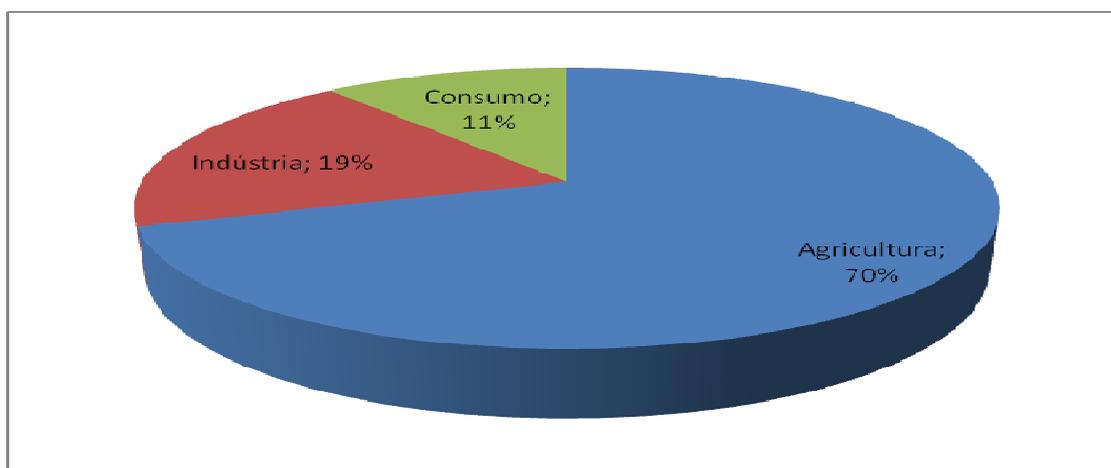
2.2 – A gestão da água nas indústrias

A indústria é, em média, o segundo maior usuário mundial de água perdendo somente para a agricultura/irrigação conforme mostra a Figura 4 (pág. 23) (FAO - AQUASTAT, 2014). Em países em desenvolvimento este consumo tende a crescer, enquanto nos países desenvolvidos a se estabilizar. Nas Américas o consumo industrial médio da água passou de 20% em 1980 para 34% em 2006, enquanto que a taxa de utilização na Europa é 57% e na Ásia 10% (FAO- AQUASTAT, 2014).

A quantidade de água necessária para atender as indústrias depende de seu tipo de atividade, da capacidade produtiva, das condições climáticas, da disponibilidade de água na região, da cultura organizacional, do tipo de tecnologia usada; dos métodos de produção, entre outras (CIRRA, 2009). A água industrial pode ser de uso direto quando entra em contato com o produto nos processos industriais ou indireto quando participa nas utilidades coadjuvantes. Assim, a água pode ser

incorporada no produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cerveja e refrigerante, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos e imunobiológicos. A água participa também nas torres de refrigeração para conforto térmico dos ambientes, nas câmaras de refrigeração próprias nos processos de destilação ou ainda no resfriamento dos reatores, nas caldeiras para a geração de vapor industrial, consumo humano, em serviços de rega e lavagem das áreas comuns e na reserva para combate a incêndios (HESPANHOL *et al*, 2002).

Figura 4. A água e seus diferentes usos



Fonte: FAO-AQUASTAT (2014)

A qualidade da água na indústria exige processos de tratamento para a remoção de contaminantes dependendo do tipo de atividade. As técnicas empregadas para remover os contaminantes variam desde uma simples filtração até processos mais avançados como a osmose reversa. Em geral, a decisão sobre qual processo deverá ser utilizado para o tratamento da água vai depender da qualidade da água captada e da qualidade mínima necessária para a utilidade que ela será destinada. O uso de água em caldeiras, por exemplo, requer a remoção de contaminantes como cálcio e magnésio para a redução de dureza e muitos processos de dessalinização e abrandamento da água são úteis. Já a água utilizada em laboratórios farmacêuticos exige um grau mais elevado de qualidade, logo exigem processos mais elaborados para o seu tratamento como a bidestilação (ANVISA, 2010_a).

As vantagens de um efetivo gerenciamento dos recursos hídricos de uma empresa podem ser econômicas, ambientais e sociais. Uma prática que está surtindo efeito na gestão dos recursos hídricos é o reúso como mostra a Tabela 1. Neste sentido busca-se o reúso da água desperdiçada pelos processos produtivos em áreas que possuam uma menor exigência de qualidade.

Tabela 1. Reúso de água na indústria.

Indicação de uso	Referência
Refrigeração, caldeiras, água de processo, construção civil.	ASANO, 1991
Refrigeração, caldeiras, água de processo, construção civil e lavador de gases.	CROOK e SURAMPALLI, 1996
Refrigeração, caldeiras, água de processo, construção civil, lavagem de pisos e peças e irrigação de áreas verdes.	HESPANHOL, 1997
Refrigeração, caldeiras, água de processo, construção civil.	BEECKMAN, 1998
Refrigeração, caldeiras, água de processo, construção civil.	MUJERIEGO e ASANO, 1999
Refrigeração, caldeiras, processo industriais, construção civil, lavagem de pisos e ruas, irrigação de áreas verdes para paisagismo e lavagem de peças / equipamentos.	MANCUSO e DOS SANTOS, 2003

Fontes: MIERZWA (2002) e ALVES (2009).

Segundo MIERWZA (2002), a filosofia industrial brasileira considerava as empresas como sistemas independentes com uma auto-gerência de água para o seu consumo bem como de seus efluentes. Esse raciocínio era aceito quando haviam um número reduzido de indústrias instaladas no Brasil. Embora ainda hoje muitas empresas não tratem seus resíduos industriais, a regulamentação e a busca por

maiores mercados fez com que as indústrias brasileiras se adaptem a um novo cenário tanto na redução do consumo de água como na mitigação dos impactos ao meio ambiente (SILVA JÚNIOR, 2009).

A política de recursos hídricos no Brasil (BRASIL,1997) tem feito um esforço, através da taxaço pelo uso da água e pelo descarte de efluentes fora dos padrões exigidos para minimizar os impactos da industrialização. Práticas de reúso têm sido crescentes, principalmente pela criação de políticas internas de revisão dos procedimentos operacionais e modernização dos seus processos. Diminuir a demanda de água em uma planta industrial é um avanço não só pela questão ambiental e preservação da água, mas por questões econômicas. Mierwza e Hespanhol (2005) dizem que *“a demanda de água, ou seja, o consumo e a quantidade de água requerida pelas diversas atividades industriais são sempre influenciados por fatores ligados ao par produtividade x oferta”*. Pode-se dizer que os fatores mencionados acima estão diretamente ligados aos ramos de atividade, capacidade de produção e disponibilidade.

2.2.1 – A água nas indústrias farmacêuticas e de imunobiológicos

O setor farmacêutico representa o principal segmento da indústria de química fina no Brasil, correspondendo a cerca de 70% do faturamento com aproximadamente 65% da demanda interna e 78% dos colaboradores envolvidos (SANTANA, 2012), além da predominância de 80% de empresas multinacionais no mercado brasileiro fortalecidas pelas práticas de saúde pública adotadas no Brasil. Vale ressaltar que este segmento industrial é estratégico tanto do ponto de vista social como econômico (SANTANA, 2012).

A água no setor farmacêutico participa em diversas etapas dos processos tais como: matéria-prima na fabricação de medicamentos, coadjuvantes dos produtos, geração de vapor para a esterilização de utensílios, lavagens de máquinas e materiais, preparo de meios de cultivo, controle de temperatura das áreas de

processamento nas torres refrigeração, controle de qualidade e de processo, entre outras. Dependendo do seu uso, são exigidos determinados padrões de qualidade mais rigorosos que, normalmente, possuem regulamentações e normas específicas. O seu uso sanitário, por exemplo, deverá atender a norma de potabilidade (BRASIL, 2011). Do mesmo modo, as legislações vigentes que estabelecem regras para que sejam atendidos os requisitos mínimos de qualidade da água para as boas práticas de fabricação para a Indústria Farmacêutica estão descritos nas Resoluções da Diretoria Colegiada (RDC) nº 17 e nº 49 (ANVISA, 2010_a e 2010_b). Tais regulamentações estão fundamentadas em padrões internacionais e em consonância com as exigências mundiais. A água para fins farmacêuticos requer limites de tolerância e monitoramentos físico-químicos, microbiológicos e bioquímicos constantes em relação à água potável para consumo humano, visto que dependendo do tipo de via de administração ou mesmo contato, há a necessidade da eliminação de diferentes contaminantes. Como referência, muitas indústrias adotam as farmacopéias que são compêndios baseados em métodos validados, especificações e testes analíticos. Na farmacopéia americana, por exemplo, são definidos os seguintes tipos de água para seus usos em indústrias farmacêuticas (USP, 2012): Água Potável, Água Purificada, Água Purificada Esterilizada, Água para Injetáveis, Água para Injetáveis Esterilizada, Água Bacteriostática para Injetáveis, Água Estéril para Irrigação e Água Estéril para Inalação. Por outro lado, as exigências regulatórias para as águas que alimentam as torres de refrigeração e as caldeiras normalmente são baseadas no Guia da Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1992).

Os produtos imunobiológicos são produzidos com mais de 80% de água em suas formulações. Para atender os complexos processos de sua produção são utilizados os mesmos tipos de água do setor farmacêutico. As águas industriais para estes fins geralmente são provenientes da água potável e processadas internamente, gerando águas de qualidade superiores, tais como: água purificada, água abrandada, água para injetáveis, vapor puro e vapor industrial como mostra a Tabela 2. Algumas indústrias utilizam águas com limites de especificação maiores que as águas purificadas como as águas de laboratório e de grau reagente (ANVISA, 2010).

Tabela 2. Aplicação dos diferentes tipos de águas em uma Indústria de Imunobiológicos

APLICAÇÕES	TIPOS DE ÁGUA			
	POTÁVEL	ABRANDADA ¹	PURIFICADA (PW) ²	PARA INJETÁVEIS (WFI) ³
CONSUMO EM GERAL	X			
PREPARO DE ÁGUA ABRANDADA	X			
PREPARO DE ÁGUA PURIFICADA		X		
PREPARO DE ÁGUA PARA INJETÁVEIS			X	
LIMPEZA DE SALA LIMPA			X	X
LAVAGEM DE COMPONENTES NÃO-ESTÉREIS	X		X	
LAVAGEM DE COMPONENTES ESTÉREIS			X	X
LAVAGEM ESTÉRIL DE PARTE DE EQUIPAMENTOS				X
PREPARO DE SOLUÇÕES DE LAVAGEM E DESINFECÇÃO	X		X	X
PREPARO DE SOLUÇÕES DIVERSAS			X	X
RINSAGEM DE COMPONENTES ESTÉREIS			X	X
DESENVOLVIMENTO E PESQUISA			X	X
TORRES DE REFRIGERAÇÃO	X			
CALDEIRAS		X		
PREPARO DE VAPOR PURO			X	

Notas: ⁽¹⁾ a água abrandada é normalmente obtida por trocador catiônico ou osmose ou eletrodeionização; ⁽²⁾ PW (purified water) é normalmente obtida por osmose reversa ou destilação simples ou eletrodeionização; ⁽³⁾ WFI (water for Injection) é normalmente obtida por osmose reversa ou destilação. Fontes: Bio-Manguinhos (2013) e ANVISA (2010 a e b).

Os meios de obtenção da água industrial farmacêutica requerem tratamentos desde os convencionais até os avançados. O tratamento convencional inclui a cloração para evitar a sua contaminação nos reservatórios e a filtração por sistemas de areia/antracito para a remoção de material particulado. Segundo Alves (2009), os métodos de purificação de água partindo da água potável podem ser: troca iônica,

osmose reversa e/ou eletrodeionização, enquanto que para a produção de água para injetáveis recomenda-se a destilação de água purificada. A geração de vapor puro utilizado nos processos de esterilização é realizada em robustos geradores também a partir da água purificada. Por outro lado, a geração de vapor industrial requer uma menor exigência na qualidade da água podendo ser somente abrandada por trocador catiônico, já as torres de refrigeração são alimentadas por água potável (ALVES, 2009).

Os processos de purificação da água para uso farmacêutico são projetados com base no limite máximo de contaminantes que é especificado pelas normas oficiais para a redução de impurezas físico-químicas e microbiológicas como mostra a Tabela 3 (pág. 29). O monitoramento constante dos sistemas de geração de água purificada é de extrema importância. Desse modo, não só o processo de produção é crítico como sua distribuição e armazenamento, um exemplo disso é a necessidade de manter o tanque das águas para injetáveis a uma temperatura superior a 80°C e recirculação com agente bacteriostático (ANVISA, 2012). Um dos parâmetros mais críticos é a contaminação microbiológica, pois os microrganismos podem se proliferar nas tubulações, peças, válvulas e outros componentes dos sistemas de tratamento e de distribuição da água, tanto purificada quanto para injetáveis (ANVISA, 2012).

Na produção de imunobiológicos, as águas purificadas e para injetáveis são utilizadas diretamente como matéria-prima nas formulações de vacinas e biofármacos, em sua totalidade como diluentes de vacinas e de biofármacos liofilizados, nas formulações das soluções dos kits para diagnósticos e na lavagem de frascos, tanques, equipamentos e utensílios próprios para a formulação e o envase (ANVISA, 2010 b).

Tabela 3. Faixas encontradas no monitoramento das águas utilizadas nas indústrias farmacêuticas

PARÂMETRO	TIPO DE ÁGUA							
	POTÁVEL		ABRANDADA		PURIFICADA		PARA INJETÁVEIS	
	VALOR DE ALERTA	VALOR MÁXIMO						
CONDUTIVIDADE (□S/cm à 25°C)	NA	1.300	NA	3.000	0,8	1,3	0,8	1,3
COT (ppb)	NA	NA	NA	NA	350	500	350	500
BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS (UFC/mL)	NA	NA	NA	NA	80	100	8	10
COLIFORMES TOTAIS (NMP/mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
ENDOTOXINA (EU/mL)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,05	0,25

Notas: NA: não aplicável. Valor de Alerta indica que é necessário cautela e talvez o sistema possa vir a sofrer alguma manutenção ou reparo. Valor máximo é a especificação da farmacopeia para aprovação das análises, acima deste há a paralisação da utilização da água para fins de produção e inicia-se a investigação do sistema de produção de águas e as causas da reprovação das análises. Fontes: Programa de Monitoramento de Águas de Bio-Manguinhos (2013); Brasil (2010);

2.2.2 - Custo da Água para a Indústria Farmacêutica e de Imunobiológicos

A gestão dos recursos hídricos em uma indústria farmacêutica é fundamental para melhorar os processos produtivos economizando os altos custos com o tratamento de água e evitando o desperdício em diversas áreas. A indústria farmacêutica arca com todos os custos associados à água incluindo a cobrança pelo uso da água potável e o lançamento de seus efluentes, bem como a produção de água purificada e para injetáveis. A Tabela 4 (pág. 30) mostra o custo da água potável de uso residencial, comercial, industrial e público por metro cúbico nos

estados do Rio de Janeiro e São Paulo bem o custo estimado para a produção de água purificada e para injetáveis.

Tabela 4. Custos da água potável cobrados no Rio de Janeiro e em São Paulo bem como da produção de água purificada e para injetáveis pela indústria de imunobiológicos.

TIPO DE ÁGUA	VOLUME CONSUMIDO (M ³)	TARIFA ÁGUA (R\$) 2012 ^{***}	TARIFA ÁGUA (R\$) 2013 ^{***}	TARIFA EFLUENTE (R\$)	
				2012	2013
ÁGUA POTÁVEL (RES.) RJ	> 60	18,58	19,74	-	
ÁGUA POTÁVEL (RES.) SP	> 50	6,86	7,24	6,86	7,24
ÁGUA POTÁVEL (COM.) RJ	> 30	14,86	15,79	-	
ÁGUA POTÁVEL (COM.) SP	> 50	12,43	13,12	12,43	13,12
ÁGUA POTÁVEL (IND.) RJ ^{**}	> 30	14,84	15,77	-	
ÁGUA POTÁVEL (IND.) SP	> 50	12,43	13,12		13,12
ÁGUA POTÁVEL (PUB.) RJ	> 15	6,78	7,20	-	
ÁGUA POTÁVEL (PUB.) SP	> 50	12,43	13,12	12,43	13,12
ÁGUA PURIFICADA	1	28,00	30,00	-	
ÁGUA PARA INJETÁVEIS	1	43,00	45,00	-	

Notas: ⁽¹⁾ valor inclui o tratamento do efluente despejado. ^(*) Água potável industrial RJ na área A. ^(***) Tarifas por m³. Fontes: SABESP (2013), CEDAE (2013) e Bio-Manguinhos (2013).

A produção de água purificada e água para injetáveis provenientes dos sistemas de osmose e destilação, por exemplo, geram efluentes com elevada qualidade físico-química e microbiológica que poderiam ser reaproveitadas diretamente em outras finalidades. A gestão e a avaliação desse fluxo podem reduzir significativamente o consumo de água pela Indústria, além de gerar menos efluente. Tais medidas contribuem não só para a redução no custo de lançamento de efluentes líquidos como gera benefícios socioambientais possibilitando a melhoria na qualidade das águas do entorno da indústria. Um dos mecanismos de redução dos custos da água para o setor farmacêutico seria o reúso, mas pelo o que se pesquisou esta prática ainda não foi documentada na literatura para este segmento industrial.

2.3 – Ações legais de incentivo ao reúso

A Revolução Industrial foi um marco importante e que indiretamente gerou um aumento no consumo dos recursos hídricos para atender o aumento populacional nas áreas urbanas, o comércio e a implantação de indústrias. Com a utilização da água ocorreu a geração dos esgotos o que levou a Inglaterra, em 1865, a criar a primeira legislação para o tratamento de esgotos e o reúso de água (EPA, 1980).

No Brasil, a primeira legislação que aborda o uso da água, o chamado Código de Águas, foi elaborada em 1934 onde ficaram definidos os vários tipos de água de nosso país, seu aproveitamento, derivações e possíveis fontes de contaminação (MIERZWA, 2002; CUNHA, 2008). Visto que a crise econômica do modelo agrário levou ao fortalecimento industrial acarretando a maior utilização de energia elétrica e o possível desequilíbrio hídrico, neste Código encontram-se os primeiros indícios legais que possibilitaram a cobrança pelo uso da água.

Acompanhando os riscos à saúde e a reutilização de águas residuárias, a OMS, em 1971, levantou para discussão da comunidade internacional sobre a preocupação microbiológica e a segurança dos efluentes. Em 1972, foi realizada pela ONU, a 1ª Conferência Internacional para o Meio Ambiente Humano, um marco na questão ambiental e que gerou a publicação do Guia de Reúso de Efluentes: Métodos de Tratamento de Esgoto e Seguridade da Saúde Pública (Reuse Guide of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Public Health Safeguards) visando à proteção da saúde pública (DE ALMEIDA, 2011).

No Brasil foi instituída a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e criado o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Através destas medidas foi iniciada a ordenação das questões ambientais e o uso racional da água. As águas dos corpos hídricos passaram a ser classificados no Brasil através da Resolução CONAMA nº 20 (BRASIL, 1986) e que posteriormente foi revisada na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005_b).

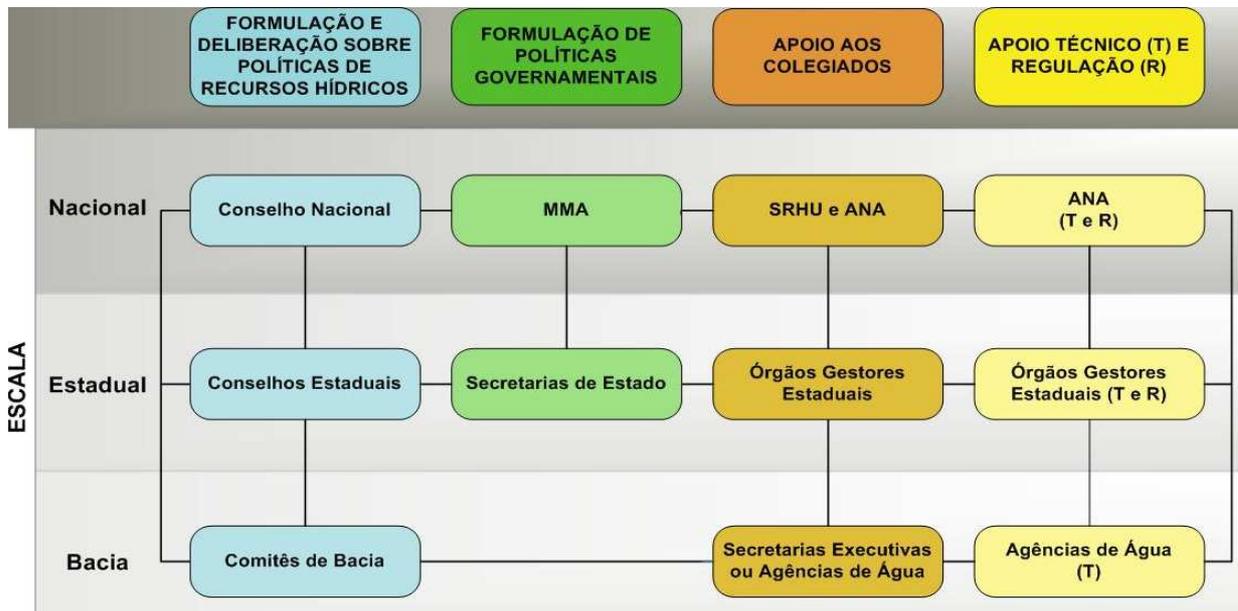
O resultado das discussões norteou as diretrizes do texto da Constituição Federal de 1988 onde a Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (PNGRH)

de autarquia federal outorga o direito de uso da água (DE ALMEIDA, 2011). Neste mesmo ano, Takashi Asano apresentou as tendências e fatores que motivaram a recuperação e o reúso da água tais como: (1) a redução da poluição dos cursos d'água, (2) a disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade, (3) a promoção, à longo prazo, de uma fonte confiável de abastecimento de água, (4) o gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, (5) o planejamento global dos recursos hídricos e (6) o encorajamento da população para a conservação da água e a adoção de práticas do reúso (ASANO; LEVINE, 1996).

Em 1992, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency - EPA) em conjunto com a Agência de Desenvolvimento Internacional (Agency for International Development) publicaram o Guia de Reúso de Água (Guidelines for Water Reuse) com a função de regular e orientar as práticas de reúso em locais que ainda não a tinham adotado. Ainda neste ano, foi realizada a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente em Dublin, que antecedeu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro (Rio-92) com a preocupação ambiental em relação ao seu desenvolvimento sustentável em função da escassez de água doce e do desperdício (DE ALMEIDA, 2011).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) representou um avanço na manutenção dos mananciais e na redução do consumo de água pelos setores produtivos. O sistema de gerenciamento dos recursos hídricos ficou dividido em diferentes esferas como mostra a Figura 5 (pág. 33). A Lei das Águas instituiu duas ferramentas importantes na gestão dos recursos hídricos como a outorga e a cobrança pelo uso da água (DE ALMEIDA, 2011). A água extraída para os usos consuntivos passou a ser cobrada, devendo o valor recolhido ser revertido na manutenção dos mananciais e dos reservatórios geralmente administrados pelos Comitês de Bacias. Além disso, os rejeitos gerados somente poderão ser lançados dentro de padrões mais exigentes sem comprometer a qualidade dos mananciais. Tais determinações legais estimularam o uso racional da água e, nos setores industriais, o reúso direto ou indireto dos efluentes (DE ALMEIDA, 2011).

Figura 5. Matriz Institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos



Fonte: BRASIL,2005.

Em 2000 foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA) de caráter executivo e regulatório com a finalidade de impulsionar a PNRH frente à complexidade e às dificuldades inerentes à implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que, apesar do marco legal favorável, não gerou a resposta esperada pelos participantes. Com isso, procurou-se dar maior dinamismo aos Comitês de Bacia e apoiar a execução do novo conjunto de instrumentos de gestão disponível dos recursos hídricos.

A resolução 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2005 b) define os critérios gerais para reúso de água potável, mas no geral as recomendações são do reúso não potável da água. Em 2012, a ANA lançou várias ações para apoiar o reúso de água no Brasil traçando como metas para 2014 como o reúso não potável de água para fins urbanos e industriais, além de propor alterações nas legislações federal, estaduais e municipais e a elaboração de normas técnicas quanto ao incentivo à conservação e ao uso racional da água (ANA, 2003).

No Brasil ainda não existem leis federais específicas quanto à obrigatoriedade ou incentivo explícito ao reúso e/ou recuperação de água; no entanto, medidas locais

e isoladas são encontradas no sentido de incentivo a essa prática. No Rio de Janeiro, por exemplo, o Decreto nº 23.940/2004 obriga a reserva de águas pluviais em empreendimentos superiores a 500 metros quadrados para fins de retardo do escoamento superficial e, com isso, a redução de enchentes (RIO DE JANEIRO, 2004_a). Além disso, o Projeto de Lei nº 1.350/2004 torna obrigatória a utilização de sistema de reúso de água servida e o uso das águas pluviais para fins não potáveis nas edificações situadas no Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2004_b). Em São Paulo, o decreto nº 48.138/2003 institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água (SÃO PAULO, 2003), e em Maringá o decreto municipal nº 6.076/2003 recomenda o reúso de esgoto tratado na lavagem de ruas e de praças, bem como a irrigação de jardins e campos esportivos entre outros (MARINGÁ, 2003). Além disso, empresas de saneamento que tratam esgoto doméstico comercializam as denominadas águas cinzas (esgoto tratado) para diversas finalidades como ocorre pela SABESP e CEDAE. Este quadro mostra que há uma tendência de reúso de água proveniente de esgotos tratados em diferentes modalidades urbanas.

A utilização direta ou indireta de água em uma mesma atividade ou não, em ações planejadas ou não e visando suprir algumas atividades humanas por uma ou mais vezes define a prática de reúso (ASANO; LEVINE, 1996). Fink e Santos (2003) destacaram a importância da outorga para o reúso de água enfatizando que a sua reutilização não se enquadra em nenhuma das hipóteses legais desse tipo de concessão e que, portanto, a partir da implantação do reúso direto no processo produtivo, o usuário fica dispensado de qualquer autorização pelo poder público.

O reúso da água no meio urbano pode ser em ar condicionado, no combate a incêndios, uso sanitário e na engenharia civil, e nas áreas de recreação o que favorece a redução do quinto maior consumidor de água nos parques e lagos artificiais e chafarizes. Nos casos de extrema escassez nos reservatórios adota-se o reúso da água para fins potáveis e, neste caso específico, a legislação brasileira não recomenda e nem apoia esta prática.

A água de reúso e/ou recuperada são as únicas soluções para fechar o ciclo entre o balanceamento hídrico demandado e ofertado em uma empresa. Uma das

alternativas muito aplicadas é o reúso de efluentes tratados retornando a determinadas atividades industriais após o tratamento pelas técnicas de osmose reversa, nanofiltração, ultrafiltração e ozonização (MIERZWA, RODRIGUES e SILVA, 2007). A adoção da estratégia de reúso industrial da água no Brasil vem ganhando força principalmente devido a cobrança pelo uso da água e seus efluentes lançados e pelo comprometimento sócio-ambiental através do uso racional para o controle de perdas e desperdícios da água (MARTINS e ALMEIDA, 1999). Portanto, um estudo detalhado dos fluxos hídricos e das necessidades dentro de uma indústria independente de sua atividade através de um sistema de gestão integrado pode propor soluções inteligentes para o melhor aproveitamento da água com reduções no seu consumo e no desperdício, o que certamente acarretará um menor custo para a empresa.

2.4 – Definições de reúso

De acordo com a definição da OMS (1973) são classificados seis tipos de reúso em diferentes modalidades:

- a) **reúso indireto:** *ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto in natura;*
- b) **reúso direto:** *é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;*
- c) **reciclagem interna:** *é o reúso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra fonte deve-*

se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento;

- d) **reúso potável direto:** ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao risco sanitário associado;
- e) **reúso potável indireto:** caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. E para o planejamento de reúso direto para fins não potáveis temos ainda:
- f) **reúso não potável para fins industriais:** abrangem os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, limpeza etc. Pode-se considerar alguns usos comerciais tais como a lavagem de veículos;

Mierzwa (2002) definiu reúso como a utilização de efluentes tratados nas próprias unidades de tratamento, em substituição da água em duas maneiras práticas de reúso no âmbito industrial: (a) reúso direto de efluentes também conhecido como reúso em cascata onde o efluente originado por um determinado processo é diretamente utilizado em outro pois suas características são compatíveis com os padrões de qualidade da água utilizada neste; e (b) reúso de efluentes tratados que consiste na utilização das águas residuárias tratadas em atividades que exigem menor grau de qualidade de água como jardinagem e lavagem de áreas externas. Mancuso e Santos (2003) usaram este termo como uma tecnologia desenvolvida que trata em maior ou menor grau a água, dependendo dos fins a que ela se destina e de como ela tenha sido usada anteriormente. A Resolução Conama nº 54 (BRASIL, 2005 b) considera a prática de reúso como um mecanismo para a redução no consumo desordenado de água bem como a manutenção dos recursos hídricos nacionais quando define a água de reúso como um efluente que atende determinados padrões para certas atividades que mereçam seu uso direto sem diluição por qualquer corpo hídrico, mas adotada de forma planejada. Esta mesma resolução elucida as modalidades a que esta água de reúso pode ser aplicada. Vale ressaltar que o reúso

industrial abrange processos, utilidades e operações e dentro desta concepção, muitas atividades industriais reutilizam água nas instalações de refrigeração como nas torres de resfriamento, uma vez que ela atende as especificações de seu uso. Hespanhol e Gonçalves (2006) restringem o termo reúso para o uso *de novo* de água de rejeito sendo ou não tratada. No entanto, Nogueira (2011) adotou este termo como um processo pelo qual a água tratada ou não é reutilizada para o mesmo ou outro fim podendo ser direta ou indireta decorrente de ações planejadas ou não. Embora estas definições possam ter idéias convergentes elas possuem algumas particularidades quanto à necessidade de se ter ou não tratamento da água para ser reutilizada ou em quais atividades esta água pode ser aplicada. Por fim, Silva Júnior (2009) descreve que a terminologia “reúso” é bastante extensa e vários autores abordam esta temática tornando muitas vezes complexo o seu entendimento e a sua prática.

Outras concepções de reúso foram derivadas deste conceito como o reúso parcial de efluentes onde se usa parte do efluente não tratado citado no reúso em cascata e o reúso indireto onde o efluente é diluído para ser reutilizado. A prática de reúso pode ter um planejamento onde ocorre a determinação de seus prováveis e possíveis reúsos, ou não planejados onde não há controle sobre as formas e os tipos de reúso. As atividades industriais podem ainda adquirir água de reúso cedida pelas concessionárias (reúso macro externo) ou serem geradoras de sua própria água de reúso (reúso macro interno).

Embora este termo seja recente no Brasil, o reúso planejado e não planejado de água já foi definido por Montgomery (1985) no capítulo Água de Reúso do livro *Projetos e Princípios de Tratamento de Água*. Nestas publicações já aparecem o termo reciclagem de água como o reúso interno dos efluentes *in natura*. Logo todos os termos e conceitos posteriores podem ter sido variantes deste compêndio. Portanto, o reúso pode ser classificado quanto ao método conforme é realizado e quanto ao uso final (RODRIGUES, 2005).

2.5 – A Água utilizada nas Torres de Resfriamento e nas Caldeiras

A área de utilidades em uma indústria é responsável pelo fornecimento dos insumos básicos para o funcionamento de equipamentos diretamente ou não ligados aos processos industriais (MIERZWA, 2002). A Tabela 5 mostra as diferentes utilidades industriais em que participa a água.

A utilidade que demanda grandes volumes de água é o sistema de resfriamento. De acordo com Mancuso (2001) existem três tipos de sistemas de resfriamento: (1) Sistemas de circuito aberto sem circulação de água onde a água aquecida é descartada na mesma medida em que é substituída por água fria captada de um manancial; (2) Sistemas de circuito semi-aberto onde a água aquecida é reutilizada depois de ser resfriada nas torres de resfriamento ou sistemas evaporativos. Neste sistema há certo descarte de água aquecida para evitar o acúmulo de material indesejável na superfície de troca de calor; e (3) Sistemas de circuito fechado o qual a água aquecida é reutilizada após ser resfriada em sistemas não evaporativos demonstrando que esses sistemas não apresentam perdas significativas de água.

Nos sistemas evaporativos, a água sai dos trocadores de calor e é distribuída no topo das torres de resfriamento onde o ar é insuflado em contracorrente. Neste compartimento parte da água evapora e parte resfria podendo ocorrer perda de água por evaporação, arraste ou descarte (BROOKE e MCKELVEY, 1959). Normalmente podem ocorrer de 5 a 10 ciclos de recirculação nos sistemas alimentados com água para consumo humano (ALVES, 2009) enquanto que nos alimentados com água de reúso é usado de 2 a 5 ciclos (ASANO *et al.* 2006).

Tabela 5. Sistemas de utilidades industriais e suas respectivas finalidades

Sistema	Finalidade
Tratamento, Produção e Distribuição de Águas Industriais	Captação, tratamento, purificação, destilação e produção de vapor puro.
Geração de Vapor Industrial (caldeiras)	Produção de vapor de aquecimento para o funcionamento dos destiladores e geradores de vapor industrial.
Resfriamento (torres de refrigeração)	Fornecimento de água de resfriamento para as centrais de água gelada para trocas térmicas.
Ar-comprimido	Geração de Ar-comprimido para equipamentos e em processos.
Ar-Condicionado	Climatização de ambientes para atender aos processos e conforto térmico.
Tratamento de Efluentes	Coleta, moagem, captação de todos os efluentes industriais e sanitários para controle ambiental.
Manutenção e Operações	Execução de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e instalações. Operacionalização dos sistemas para garantir a execução dos processos.

Fonte: MIERZWA (2002) e MANCUSO (2001).

A eficiência de uma torre de resfriamento está em torno de 85 a 95% e as perdas de água pelo arraste pairam entre 0,01 e 0,3% da vazão de recirculação (MANCUSO, 2001). A purga ou o descarte é uma manobra operacional que varia em função da qualidade da água de alimentação, e é feita para evitar a concentração de sais dissolvidos na água. Os principais problemas observados nos sistemas de resfriamento são: incrustações, corrosões, crescimento microbológico e formação de

espuma. Algumas substâncias presentes nas águas podem ser responsáveis por estes problemas como mostra a Tabela 6. Logo, em sistemas abastecidos com a água de reúso esta purga pode ser maior do que o normal.

Tabela 6. Substancias causadoras de problemas em Torres de Resfriamento

Substancias	Problemas potenciais
Amônia	<i>Fouling</i> biológico, corrosão
Carbonatos e bicarbonatos	Corrosão e incrustação
Magnésio	Incrustação
Microrganismos	<i>Fouling</i> biológico
Material orgânico	<i>Fouling</i> biológico
Fosfatos	Incrustação
Sílica	Incrustação
Sólidos dissolvidos totais	Corrosão e incrustação

Fonte: MACHADO (2004).

Além do uso da água industrial nos sistemas de resfriamento, ela pode ser utilizada como fonte de energia para a geração de vapor nas caldeiras que podem também produzir água quente. Existem três sistemas de caldeiras: (1) as de baixa pressão (circuito fechado) onde a perda de água não é significativa não sendo necessária água de reposição (*make-up*), além de operar com uma pressão inferior a 10 kgf/cm²; (2) as de média pressão que operam com pressão entre 11 a 40 kgf/cm²; e (3) as de alta pressão que operam com pressões de vapor superiores a 40 kgf/cm², temperaturas acima de 121°C e com a necessidade de fornecimento de água de “*make-up*”.

A qualidade da água que alimenta os sistemas de resfriamento e de vapor industrial deve atender a alguns parâmetros definidos pelo Guia EPA (EPA, 1992) como mostra a Tabela 7 (pág. 42). Muitos desses contaminantes podem ser controlados com a adição de produtos químicos inibidores de incrustações e de corrosão. Segundo Machado (2004) para um bom funcionamento das caldeiras é

recomendado o uso de água abrandada. A dureza elevada promove incrustações, prejudica a transferência de calor e a eficiência da caldeira, com isso é necessário o aumento nas operações de limpeza e de manutenção preventiva para evitar acidentes. Os íons cloretos e silicatos aliados às altas temperatura e pressão fazem com que haja os processos internos de corrosão e incrustação. O oxigênio dissolvido provoca corrosão nas paredes da caldeira e processos de tubagem. As corrosões também podem ser promovidas em pH ácido pelo ataque às superfícies metálicas enquanto que o surgimento de espumas pode ser favorecido pelo pH acima de 11. Por outro lado, a água das torres de resfriamento normalmente não requer água abrandada, mas a faixa de pH da água de alimentação é mais estreita que a utilizada nas caldeiras. Vale ressaltar que a dureza não é algo tão crítico na água de alimentação das torres, mas o controle dos íons sulfato, fosfato e nitrato são fundamentais, pois a proliferação bacteriana pode promover a redução do enxofre e do nitrogênio favorecendo a biocorrosão pela formação de gás sulfídrico e amônia (DA SILVA e PONTES FILHO, 2008; DE MORAES, 2008; RIBEIRO e DALPRAT-FRANCO, 2007).

Tabela 7. Alguns parâmetros de qualidade da água das torres de resfriamento e de caldeiras

Parâmetros de qualidade	Torres Resfriamento	Caldeira de baixa pressão	Caldeira de média pressão	Caldeira de alta pressão
pH	6,9 - 9,0	7,0 - 10,0	8,2 - 10,0	8,2 - 9,0
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	< 3000	< 3500	< 3500	< 3500
Dureza (mg CaCO_3/L)	650	350	1,0	0,07
Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)	350	350	100	40
HCO_3^- (mg CaCO_3/L)	24	170	120	48
Ferro (mg/L)	0,5	1,0	0,3	0,05
Cloreto (mg/L)	500	-	-	-
Fosfatos (mg/L)	4	0,1	-	-
Sulfatos (mg/L)	200	-	-	-
N-NH_4^+ (mg/L)	1	0,1	0,1	0,1
STD (mg/L)	500			
DQO (mg/L)	75	2,5	0,007	0,0007
SST (mg/L)	100	700	500	200
Turbidez (UT)	50	-	-	-
DBO (mg/L)	25	-	-	-
Alumínio (mg/L)	0,1	5	0,1	0,01
SiO_2^- (mg/L)	50	30	10	0,7

Fonte: EPA (1992).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Este estudo avaliou a possibilidade do reúso direto do efluente industrial gerado pelo processo de produção de água purificada por osmose reversa seguida por eletrodeionização da Central de Tratamento de Águas (CTA) do Centro Tecnológico de Vacinas (CTV) do Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos Bio-Manguinhos/FIOCRUZ nas torres de refrigeração e/ou em sistemas de geração de vapor industrial.

3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Realizar o levantamento bibliográfico da produção técnico-científica em relação ao tema deste estudo;
- Realizar o levantamento do consumo de água nos diferentes setores do CTV;
- Realizar o levantamento dos custos da água para o CTV;
- Avaliar a qualidade e a quantidade de efluentes gerados pelo sistema de osmose reversa (P1), saída do analisador de COT (P2) e no gerador de ozônio (P3);
- Avaliar o possível reúso direto das águas residuárias para os sistemas de resfriamento e/ou geradores de vapor industrial;
- Estimar a economia financeira de água com a implantação deste sistema de reúso proposto.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada uma revisão bibliográfica nos principais bancos de dados LILACS, CIELO, PUB-MED, MED-LINE e GOOGLE-ACADEMIC utilizando as palavras-chaves: “reúso de água”; “economia de água”; “reúso industrial de água”; “indústria de imunobiológicos” e “indústria farmacêutica” em português e seus termos correspondentes em inglês visando quantificar os artigos científicos relacionados ao tema central de estudo. Esta pesquisa considerou os artigos publicados no período entre 2002 a 2013. Além disso, fizeram parte desta avaliação também as normas, relatórios técnicos, resoluções e leis referentes ao assunto. Todos os documentos encontrados foram filtrados em relação ao reúso direto e/ou reciclagem de água no setor industrial.

4.2- Área de Estudo

O Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos – Bio-Manguinhos é a unidade da Fundação Oswaldo Cruz responsável pelo desenvolvimento tecnológico e pela produção de vacinas, reagentes para diagnósticos e biofármacos voltados prioritariamente às questões e demandas da saúde pública no Brasil. O Complexo Tecnológico de Vacinas (CTV) é um dos maiores e mais modernos centros de produção de imunobiológicos da América Latina e possui a responsabilidade de suprir o calendário básico do Programa Nacional de Imunização do Ministério da Saúde. Desde sua fundação, em 1976, Bio-Manguinhos vem se destacando no cenário internacional não só pelas exportações de vacinas através da OPAS e do UNICEF, mas porque está qualificado pela OMS para atender ao fornecimento das vacinas de

febre amarela e meningite para as agências das Nações Unidas em mais de 70 países (INTRANET DE BIOMANGUINHOS).

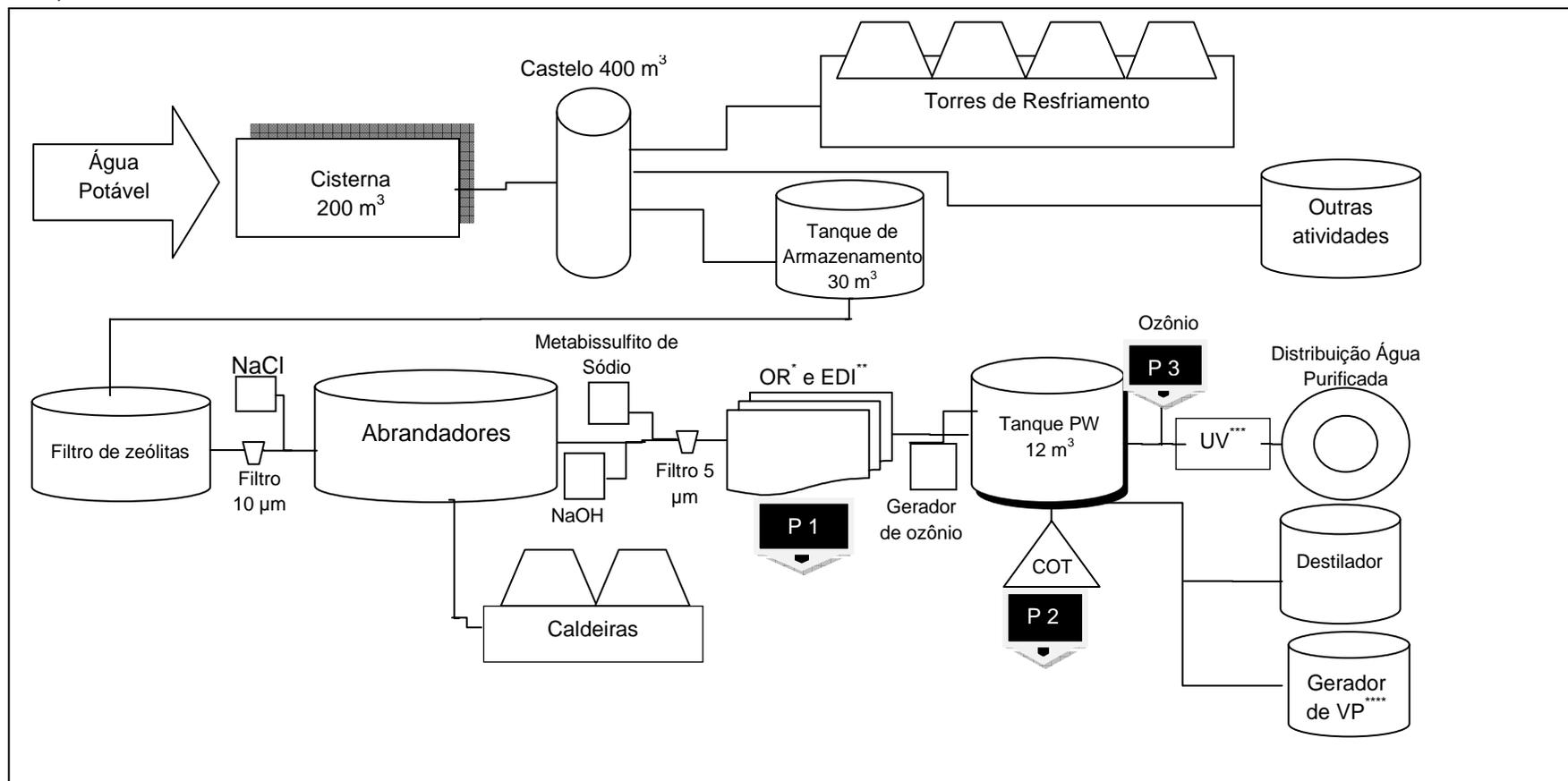
A água utilizada na CTV é fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE/RJ). Inicialmente esta água é armazenada em uma cisterna de 200 m³ que abastece uma elevatória (castelo) de 400 m³. Deste castelo partem ramificações que vão atender às demandas das torres de resfriamento das unidades de tratamento de água, das instalações higiênico-sanitárias, de uso pessoal, além das demais utilidades industriais como mostra a Figura 6 (pág. 46).

Na produção de água purificada, a água abrandada entra em um sistema integrado de osmose reversa seguida de eletrodeionização. A CTV conta atualmente com 3 sistemas de osmose reversa modelo Osmotron marca Christ Americas com a capacidade de até 12 m³/h de água purificada produzida. Durante a sua produção ocorrem as injeções de solução de metabissulfito de sódio (10%) para a redução do cloro residual que poderia danificar a membrana da osmose reversa e de hidróxido de sódio (50%) para evitar a formação de sílica-coloidal que provocaria o fenômeno de “*fouling*”, além de eliminar o gás carbônico dissolvido que aumentaria a sua condutividade. Neste processo ocorre um descarte sistemático de efluente concentrado (P1) que carrega os contaminantes, além de outros pontos de limpeza e medição *on line* de COT (P2) e Ozônio (P3) (Figura 6, pág. 46)).

O sistema de armazenamento de água purificada conta com um tanque de 12 m³ que recebe ozônio para evitar a contaminação microbológica. A sua distribuição ocorre por um “*loop*” fechado onde a água do tanque passa por uma lâmpada de UV para a liberação de radicais livres (OH·) que mantém a integridade da qualidade da água nas tubulações.

A água purificada é utilizada em diversas atividades no CTV como no preparo de soluções, lavagem de materiais e equipamentos, produção de vacinas, preparo de reagentes industriais, preparo de reagentes para diagnósticos, produção de vapor puro e água para injetáveis.

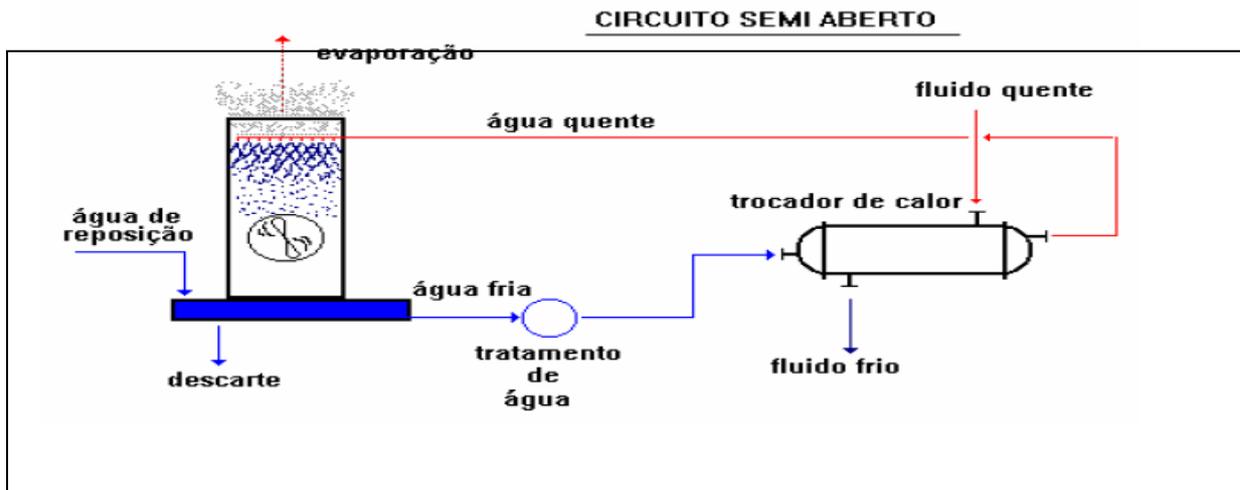
Figura 6. Diagrama simplificado da produção de água abrandada e purificada no CTV mostrando os pontos de água residuária industrial onde P1 é o descarte da osmose reversa (concentrado), P2 o descarte do analisador de carbono orgânico total (COT) e P3 o descarte do analisador de ozônio



Notas: *OR – osmose reversa; **EDI – eletrodeionização; ***UV – lâmpada de ultravioleta; ****VP – vapor puro.

No CTV existem 2 torres de resfriamento do modelo Alpina (Concreto) e que requerem 6 m³/h de água potável. As torres de resfriamento utilizadas são de sistema semi-aberto com recirculação conforme apresentado na Figura 7.

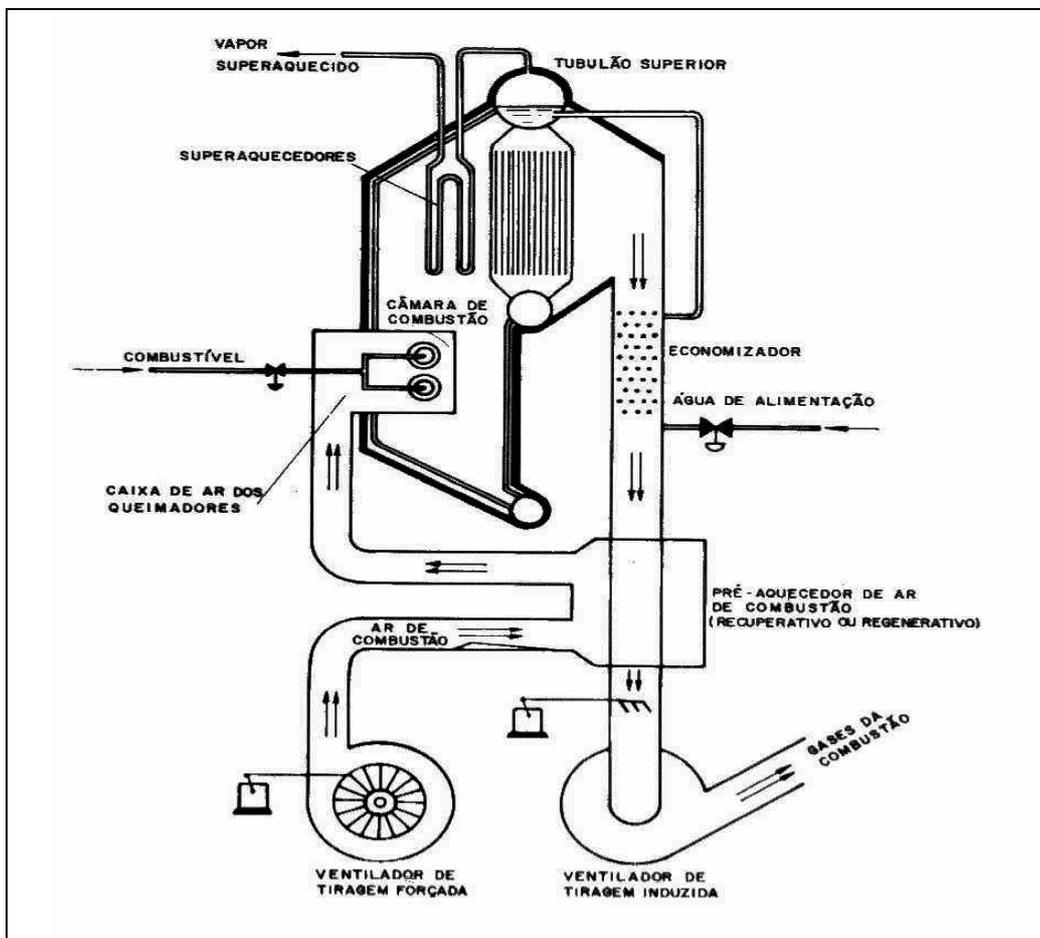
Figura 7. Sistema semiaberto com recirculação representando as torres do CTV.



Fonte: MANCUSO (2001)

Para a produção de água abrandada, a água potável entra na CTA passando primeiramente por um filtro de zeólitas (Greensand) para a remoção dos íons ferro e manganês e depois em um leito trocador catiônico para a retirada da dureza. Parte da água abrandada abastece as 4 caldeiras de classe B de média pressão (Kewanee) que produz 0,5 kgf/h de vapor industrial usado nos destiladores para a produção de água para injetáveis e para a produção de vapor puro pelos geradores. O vapor gerado é transportado por tubulações com isolamento térmico para evitar a perda de calor ao longo de sua trajetória até o ponto de uso. É comum na rede de distribuição existir pontos de purga que servem para retirar o condensado que pode interferir no transporte do vapor e reduzir a sua temperatura como mostra a Figura 8 (pág. 48). Além disso, este mecanismo ajuda a reduzir a concentração de impurezas no vapor evitando incrustações; no entanto, seu uso excessivo pode levar ao desperdício energético (MARTINELLI, 2011).

Figura 8. Esquema básico de funcionamento de uma caldeira no CTV



Fonte: MARTINELLI (2011).

4.3 - Consumo e custo de água nos setores do CTV

O levantamento do consumo de água potável e seus diferentes tipos de consumo foi realizado no período de agosto de 2012 até dezembro de 2013, através dos dados compilados dos relatórios mensais internos disponibilizados pelo Departamento de Engenharia (DEPEM) de Bio-Manguinhos. Todos os dias, o Setor de Operações do DEPEM realizou 8 medições a cada três horas, através de horímetros ligados em linha aos equipamentos e seus respectivos painéis. Os dados obtidos foram divididos em: produtora de água purificada a partir de água potável

(CTA), torres de resfriamento, caldeiras, laboratórios (analítico e controle de processo), construção, reserva para combate a incêndio, irrigação/lavagem das áreas externas, limpezas internas, restaurante para os colaboradores e visitantes, limpezas internas e para atender a todas as necessidades humanas.

Os custos foram levantados a partir da conta de água cobrada pela prestadora de serviço estadual com tarifas de R\$ 14,84 (agosto 2012 a setembro de 2013) e R\$ 15,77 (outubro de 2013 até novembro de 2014) na categoria indústria na área A (capital do estado) com consumo acima de 30 m³.

A economia financeira foi estimada através do levantamento dos dados dos custos da água potável para a alimentação das utilidades em questão relacionadas aos custos de produção de água purificada e suas águas residuárias.

4.4 - Análises qualitativas da água em torres de resfriamento e caldeiras

Os resultados das análises qualitativas das torres de resfriamento e das caldeiras foram cedidos pelo DEPEM em formato de laudos mensais inseridos nos relatórios internos de operação das utilidades com todos os testes exigidos pelo EPA (1992) tais como: pH, condutividade, dureza, alcalinidade total, ferro total, cloretos, fosfatos e sulfatos, além da avaliação microbiológica.

4.5 – Coleta e medição da vazão da água residuária industrial

As águas residuárias dos pontos do sistema de produção de água purificada (P1, P2 e P3 – Figura 6) foram coletadas em frascos de polipropileno de 500 mL e armazenados a 4°C por no máximo 4 horas para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas segundo EPA (1992) e USP 36 (2012). As análises

foram realizadas no laboratório do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da ENSP/FIOCRUZ.

A vazão dos pontos de rejeição das membranas de OR foram medidas pelos sensores *on line* instalados no sistema. Além disso, foram utilizados os valores de referência de descarte recomendado pelo fabricante em função da quantidade de água produzida que varia entre 30 e 50%. As vazões dos rejeitos de COT e do Ozônio foram medidas utilizando uma proveta graduada de 1 litro em função do tempo através de um cronômetro calibrado pelo INMETRO e cedido pelo Laboratório de Metrologia e Validação de Bio-Manguinhos. Todas as medições foram realizadas em triplicata.

4.6 – Metodologia analítica

As águas residuárias coletadas na CTA foram analisadas em função de pH utilizando o potenciômetro Seven Easy (Mettler Toledo), condutividade pelo condutivímetro modelo 712 (Metrohm) e COT no equipamento Sievers 900 auto sampler (GE). O ferro total foi analisado pelo método Hach utilizando 10 mL de amostra com pH entre 3,5 e 4,5 e posteriormente foi adicionado reagente específico do fabricante (FerroVer) e posteriormente medida a sua concentração no espectrofotômetro DR 2500 (Hach) pelo método 265 Iron.

A dureza foi analisada pelo método de titulação com EDTA 0,01 mol/L utilizando 100 mL de amostra com adição de 2 mL de uma solução tampão (pH 10,0) e indicador negro eriocromo T sendo observada a mudança da cor vinho a azul. A análise de alcalinidade foi feita com titulação de ácido sulfúrico a 0,02 mol/L utilizando 200 mL de amostra marcando o volume do titulante na virada do pH 8,5 e 4,5 pelo potenciômetro Star 5 (Orion). A alcalinidade associada a cada ânion (hidroxila, carbonatos e bicarbonatos) foi determinada utilizando a Tabela 8 (pág. 51) (APHA, 2012). Os íons nitrato, fluoreto, cloreto, fosfato e sulfato foram analisados

por cromatografia iônica 790 Personal (Metrohm). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Para as análises de bactérias heterotróficas totais, 100 ml de amostra previamente diluída em 90 ml de tampão PBS (Phosphate Buffered Saline) foram filtradas em membrana de 0,22 μm e a membrana foi incubada em meio PCA (Plate Count Agar) a 30-35°C por 48 horas. A contagem das colônias foi feita usando o contador onde foram aceitos valores entre 80 e 100 UFC (Unidades Formadoras de Colônias). A análise qualitativa de coliformes totais foi realizada utilizando o kit Colitag (Hach) onde 100 mL de amostra foram incubadas com o meio criogênico a 37°C por 48 horas. Na presença de coliformes totais foi observada a mudança de cor do incolor para o amarelo ouro. Todos os métodos analíticos utilizados foram realizados conforme recomendação do APHA (2012).

Tabela 8. Determinação da alcalinidade associada à hidroxila, carbonatos e bicarbonatos

RESULTADOS DA TITULAÇÃO	ALCALINIDADE OH^- (como CaCO_3)	ALCALINIDADE CO_3^{2-} (como CaCO_3)	ALCALINIDADE HCO_3^- (como CaCO_3)
P=0	0	0	T
P < ½ T	0	2 P	T – 2 P
P = ½ T	0	2 P	0
P > ½ T	2 (P – T)	2 (T - P)	0
P = T	T	0	0

Nota: volume de ácido gasto na titulação; p: titulação até virada em pH=8,5; t: titulação total até pH=4,5. Fonte: APHA (2012)

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Pesquisa Bibliográfica

Foram encontrados 54.679 artigos sobre reúso de água nos diversos setores. No entanto, a maioria dos trabalhos publicados (99%) estavam associados a esgoto ou águas residuárias que necessitavam de algum tipo de tratamento para posterior reúso. Somente 2 artigos foram mais semelhantes à temática deste estudo onde reciclavam a água diretamente. Não foram encontradas publicações científicas propondo reúso de água no setor farmacêutico e somente 2 artigos tratavam deste assunto no setor alimentício. A maior parte dos artigos sobre reúso de água industrial foi estudado no setor petroquímico e as propostas de reúso foram em sistemas de refrigeração. As publicações mais atuais se reportaram, na maioria dos casos, aos artigos clássicos que possuem as definições e as sugestões desta prática. Mesmo as teses e as dissertações sobre este assunto reportam seus resultados a uma pouca quantidade de publicações científicas.

Este levantamento mostra que existem poucas publicações sobre a prática de reúso provavelmente devido às dificuldades de pesquisa aplicada neste campo. O sigilo industrial e a política das empresas bem como a ética em pesquisa podem ser alguns dos embargos que impedem a publicação de certos dados nos meios de divulgação científica ficando muitas das vezes restritos aos relatórios técnicos internos.

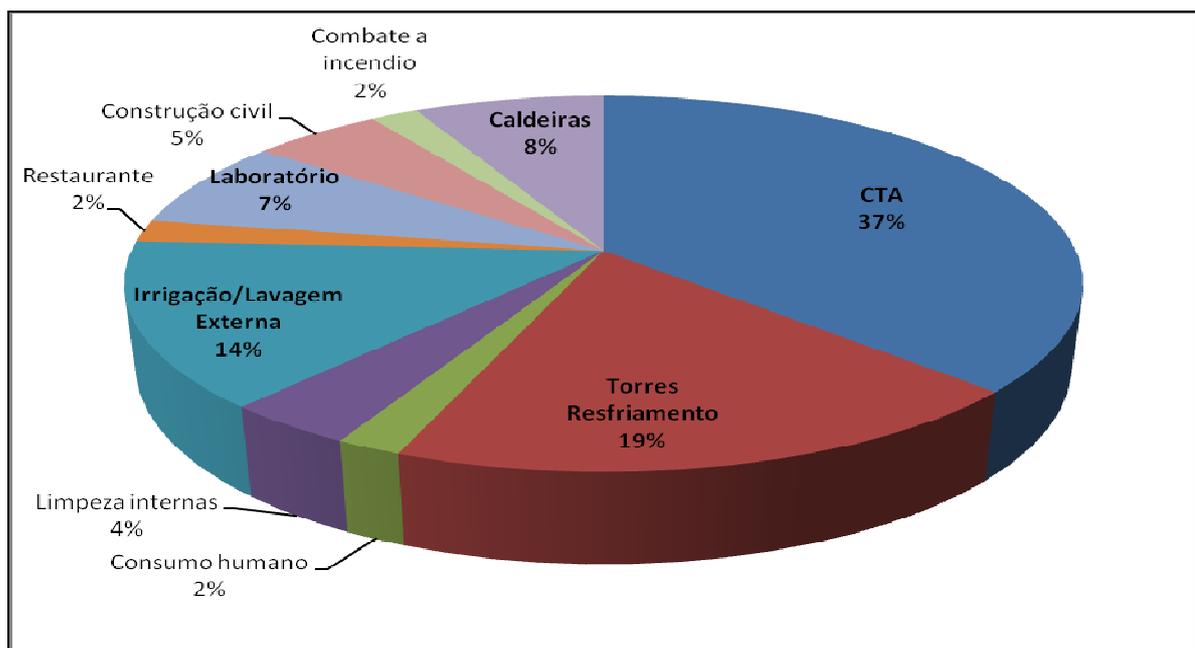
5.2 – Consumo e custo da água no CTV

Conforme o levantamento de Bio-Manguinhos, o consumo médio de água potável pelo CTV em 2012 foi de 205.275 m³ e em 2013 de 182.716 m³ o que em

média corresponde a aproximadamente 195.000 m³ por ano.

A Figura 9 mostra os percentuais médios de consumo de água nas diferentes unidades do CTV. O setor que mais consumiu água foi a CTA para a produção de água purificada (37%) seguida pelas torres de resfriamento. O volume anual médio de água usado na CTA foi de 72.000 m³, onde cerca de 10% foi perdida pelos processos de zeólitas o que correspondeu a 3,5 % de toda a água consumida pelo CTV e 65.000 m³ foi utilizada para a produção de água abrandada. 19% (37.000 m³) da água que abasteceu o CTV foi consumida pelas torres de resfriamento e 8% (15.000 m³) foi usada para a produção de vapor industrial utilizando a água abrandada (Figura 9).

Figura 9. Consumo de água potável no Centro Tecnológico de Vacinas (CTV)



Fonte: Departamento de Engenharia de Bio-Manguinhos.

Segundo dados da FIRJAN (MIERZWA, RODRIGUES e SILVA, 2007) cerca de 71% de água potável consumida por uma indústria alimentícia é utilizada na lavagem de reatores. Ainda neste setor 11% são gastos na lavagem de tanques móveis, 7% nas torres de resfriamento, 6% nas caldeiras, 4% com vasos sanitários e 1% com a irrigação de áreas verdes. Por outro lado, nas indústrias de produtos químicos orgânicos a maior parte da água (91%) está ligada diretamente aos

produtos processados. Nestes dois diferentes setores industriais, a maior parte da água é gasta na lavagem ou refrigeração, o que pode não refletir no setor farmacêutico. Embora tanto na indústria alimentícia quanto na farmacêutica os produtos requerem uma qualidade de água mais elaborada, a distribuição de seu consumo é distinto.

A quantidade média de vacinas e biofármacos produzidos pelo CTV em 2012 e 2013 foi 90 milhões de doses. Considerando a água consumida nesta unidade fabril neste período, o consumo per capita de água foi de 2 litros de água por dose de produto imunobiológico vendido, e como cada dose corresponde a 1 mL de produto, este per capita pode chegar a 2.000 litros de água consumida por litro de produto. Como não foi encontrado nenhum dado nas bases bibliográficas consultadas sobre o consumo de água per capita nos setores farmacêuticos e/ou de imunobiológicos, este dado pode ser inédito. Comparando com outros segmentos industriais, pequenas empresas do ramo de bebidas possuem um consumo relativo de água acima de 7 litros de água por litros de bebida produzida (CAVALCANTE, MACHADO e LIMA, 2013). Além disso, Piotto (2003) mostrou em seu trabalho que uma indústria de papel pode consumir de 15 a 100 litros de água para cada quilo de produto, enquanto que a indústria de leite consomem em média 3,2 litros de água por litro de leite processado (BRUM, SANTOS JÚNIOR e BENEDETTI, 2009). Estes dados mostram que o CTV teve um alto consumo de água quando comparado a outros setores industriais; no entanto, não é possível inferir se este quadro é normal para este ramo de atividades. Portanto, a prática de reuso interno neste segmento industrial pode impactar positivamente nos custos de consumo de água no CTV.

Os dados dos relatórios internos do DEPEM nos anos de 2012 e 2013 mostraram que as contas de água pagas pelo CTV foram em torno de R\$ 3.000.000,00 por ano, considerando uma tarifa média de R\$ 16,00 o metro cúbico (Tabela 4, pág. 30). Em função dos percentuais de água gastos nas torres de resfriamento e nas caldeiras nos dois últimos anos isso representou um gasto de R\$ 640.000,00 e R\$ 208.000,00, respectivamente enquanto que para a produção de água purificada este valor foi um pouco mais de R\$ 1.000.000,00 por ano. Considerando o custo total para a produção de água purificada (tecnologias

adotadas, operação, controle, insumos etc.) este valor pode ultrapassar aos 2 milhões de reais por ano. As indústrias de papel e celulose possuem um gasto de água entre R\$ 0,24 e R\$ 1,60 por quilo de papel produzido (PIOTTO, 2003), enquanto que o custo da água consumida pelo setor de laticínios baseado no consumo per capita de água neste setor citado por Brum, Santos Júnior e Benedetti (2009) pode chegar a R\$ 0,05 para cada 1 litro de leite processado. No CTV este custo chega a R\$ 0,03 por dose, ou ainda, R\$ 32,00 por litro de produto imunobiológico. Este resultado mostra que o consumo no Complexo Tecnológico de Vacinas é muito elevado, o que justifica a aplicação de alternativas para o reúso.

5.3 - As águas residuárias e as de alimentação das torres de resfriamento e das caldeiras do CTV

O percentual de descarte de água pelos sistemas de osmose reversa (P1) recomendado pelo fabricante é entre 30% e 50% da água produzida. Logo, considerando toda água consumida pelo CTV, este sistema pode descartar em torno de 10 a 17%, o que corresponde a uma faixa volumétrica de 19.500 a 32.500 m³/ano. A vazão de descarte anual medida nos processos de COT (P2) e ozônio (P3) corresponderam a 345,6 m³ e 598,2 m³, respectivamente. Estes resultados mostram que a maior quantidade de água descartada pelo processo de produção de água purificada foi em P1.

A Tabela 9 (pág. 58) mostra os resultados físico-químicos e microbiológicos da água que alimentou as torres de resfriamento e as caldeiras do CTV no período de agosto de 2012 a dezembro de 2013 bem como da qualidade das águas dos rejeitos do sistema de produção de água purificada nos pontos P1, P2 e P3 (Figura 6, pág. 46).

Em função dos limites de qualidade da água que alimenta os sistemas de resfriamento definidos pela EPA (1992), a água do rejeito do sistema de osmose reversa (OR) atendeu a maior parte das exigências, exceto para o pH e para a

concentração dos íons fosfato e nitrato, enquanto que os demais rejeitos só não atenderam às exigências de pH. Considerando o seu reuso na produção de vapor industrial, o rejeito do OR atendeu a todos os requisitos, exceto em relação à dureza, enquanto que os demais rejeitos (P2 e P3) somente não atenderam quanto ao pH. Vale ressaltar que somente uma amostragem do rejeito P1 apresentou elevada concentração de dureza (17,4 mg como CaCO_3/L) que inclusive, não atendeu aos critérios para reuso em caldeiras, o que esteve associado ao não consumo de água pela produção no momento em que foi realizada a coleta. Este dado reflete as condições deste rejeito em situações de parada de produção ou em etapas produtoras que não requerem água purificada, pois a água permanece em recirculação pelo sistema de osmose conforme recomendações dos fabricantes. Nos momentos em que houve um consumo de água purificada pela unidade fabril a qualidade dos rejeitos foi superior.

O pH de P1 foi 9,6, um valor elevado provavelmente devido à injeção de solução de hidróxido de sódio (50%) no sistema de osmose. Segundo Machado (2004), valores de pH superiores a 8,5 devem ser evitados pois podem aumentar os riscos de incrustações e deposições. Além disso, o valor acima de 11 pode promover a formação de espumas que reduzem o desempenho das caldeiras. Por outro lado, os demais rejeitos (P2 e P3) tiveram seus valores de pH abaixo do limite recomendado para o reuso nesses sistemas. Valores de pH abaixo de 6,5 aumentam drasticamente o potencial corrosivo nas torres de resfriamento bem como reduzem a eficiência dos inibidores de corrosão quando aplicados (MACHADO, 2004).

Em relação à condutividade todos os pontos amostrados tiveram valores bem abaixo do limite especificado para uso em torres de resfriamento e caldeira. A condutividade é um parâmetro que pode contribuir na corrosão das estruturas metálicas dos equipamentos (MACHADO, 2004). Portanto, esses rejeitos não possuíam potencial corrosivo em relação a este item analisado.

Em relação à dureza todos os efluentes atenderam as exigências para o abastecimento das torres de resfriamento e produção de vapor industrial. A dureza é um parâmetro muito importante de ser avaliado em função do alto poder incrustante

dos íons ferro, cálcio, magnésio e silicatos (MACHADO, 2004). Considerando a concentração de ferro, os rejeitos analisados tiveram valores inferiores ao exigido para uso em caldeiras, inclusive menores do que a água que está sendo usada nesses sistemas (Tabela 9, pág. 58).

Tabela 9. Resultados analíticos dos rejeitos da Produção de Água Purificada e da água que abastece as torres de resfriamento e as caldeiras do CTV

Parâmetros	Limites EPA (1992)		Torres**		Caldeiras		Águas Residuárias***					
	Torres*	Caldeiras*	Variação	Mediana	Variação	Mediana	P1		P2		P3	
							Variação	Mediana	Variação	Mediana	Variação	Mediana
pH	6,9-9,0	7,0-10,0	7,19-7,75	7,61	6,9-11,08	10,9	9,3-9,7	9,6	5,4-5,6	5,6	5,4-5,6	5,6
Condutividade (µS/cm)	< 3000	< 3500	1890-2091	1935	1175-1704	1342	17,92-260,8	218,2	0,874-1,5	0,979	0,987-1,0	0,988
COT† (ppb)	na	na	na	na	na	na	2070-6660	5500	21,1-128	73,5	45,3-75,2	47,8
Bact Het‡ (UFC/mL)	na	na	55-102	79	50-88	67	0	0	0	0	0	0
Coliformes totais (UFC/100mL)	na	na	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	650	1	124-167	149	0,9-2,13	1,12	0,2-17,4	0,9	0,4-0,83	0,57	0,3-0,93	0,57
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	350	100	40-84	66,71	na	na	31,2-57,8	54,6	1,9-2,7	2,2	1,4-2,5	1,7
Alcalinidade por HCO ₃ ⁻ (mg CaCO ₃ /L)	na	na	na	na	na	na	8,7-26,5	18,2	1,9-2,7	2,2	1,4-2,5	1,7
Alcalinidade por CO ₃ ⁻² (mg CaCO ₃ /L)	na	na	53,7-89,7	68,2	na	na	22,5-36,4	31,4	nd	nd	nd	Nd
Ferro total (mg/L)	0,5	0,3	1,8-1,4	2,2	0,8-2,05	1,33	0,1-0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloretos (mg/L)	500	na	107-204	165	12,3-16,5	13,6	6,57-29,38	23,22	1,29-6,38	1,30	1,3-6,39	3,85
Fosfatos (mg/L)	4	na	8,9-10	9,8	na	na	3,19-10,43	6,33	na	na	na	na
Sulfatos (mg/L)	200	na	128,7-166,7	145,3	na	na	4,33-33,77	10,78	1,09-6,32	1,13	1,08-6,30	1,09
Nitratos (mg N/L)	na	na	na	na	na	na	3,19-10,43	6,33	na	na	na	na
Flouretos (mg/L)	na	na	na	na	na	na	0,51-2,34	2,18	nd	nd	nd	nd

Notas: * definições conforme EPA (1992); ** Resultados da água que abastece as caldeiras e as torres de refrigeração do CTV conforme DEPEM; *** Resultados da águas residuária gerada durante a produção de água purificada; †COT – Carbono Orgânico Total; ‡ Bact. Het. – Bactérias Heterotróficas Totais

A alcalinidade também é um parâmetro que está associado a problemas de incrustação, *fouling* e corrosão tanto para as torres de resfriamento quanto para as caldeiras (MACHADO, 2004). Sobre este aspecto, todos os rejeitos do sistema de produção de água purificada estavam dentro dos limites recomendados pelo guia da EPA (1992). Para uma maior investigação sobre quais ânions poderiam estar contribuindo com a alcalinidade, foi analisada a alcalinidade provocada por diferentes formas iônicas (hidroxila, bicarbonatos e carbonatos). Todos os rejeitos não apresentaram alcalinidade por hidroxila e somente P1 mostrou alcalinidade por carbonatos. Provavelmente o uso de solução de hidróxido de sódio pode ter proporcionado a neutralização do gás carbônico dissolvido na água gerando os carbonatos e reduzindo os bicarbonatos. No entanto, estes parâmetros não são referendados pela norma EPA (1992).

Os níveis de cloreto, sulfato e fluoreto em todos os rejeitos estavam muito abaixo dos recomendados para uma água de alimentação dos sistemas de resfriamento e de caldeira. Embora não exista uma exigência para esses íons na produção de vapor industrial, o cloreto e o sulfato têm potencial corrosivo, além de promover o fenômeno de *fouling*, enquanto que o fluoreto é incrustante por formar sais de cálcio (MACHADO, 2004 e DE SOUZA, 2007). Além disso, o sulfato pode ser convertido por bactérias redutoras de sulfato (BRS) gerando o gás sulfídrico promovendo a biocorrosão (MAGALHÃES, C.; BAPTISTA, W, 2002). Vale ressaltar que o fato do fluoreto provocar incrustação, sua determinação é somente exigida para o uso de água para a alimentação das caldeiras e não para as torres de resfriamento (EPA, 1992).

O ponto P1 apresentou concentrações de fosfato acima do recomendado para uma água que abastece uma torre de resfriamento (Tabela 9). O íon fosfato quando combinado com cálcio e zinco pode provocar incrustação nas tubulações (MACHADO, 2004 e DE SOUZA, 2007). No entanto, De Souza (2007) afirmou que baixas concentrações de ortofosfatos podem favorecer a corrosão; ele recomendou o uso de uma concentração em torno de 10 mg/L de ortofosfato que pode promover a proteção das partes metálicas. A EPA (1992) recomenda uma concentração de

fosfato de até 4 mg/L, logo este valor deveria ser revisto. O rejeito de produção de água purificada apresentou uma concentração de fosfato abaixo dos valores da água que costuma alimentar o sistema de resfriamento da CTV, o que denota que este rejeito pode não comprometer o funcionamento destes sistemas. O que chama a atenção é a não exigência pela EPA (1992) quanto a concentração de fosfato em água de abastecimento de caldeiras como ocorre com fluoretos, uma vez que os seus respectivos sais podem promover incrustação (MACHADO, 2004 e DE SOUZA, 2007).

Embora a EPA (1992) não faça menção as formas oxidadas de nitrogênio (nitrato e nitrito), esses íons foram analisados nas amostras de rejeito na produção de água purificada onde foram encontradas baixas concentrações de nitrato em P1 (Tabela 9, pág. 58). De Souza (2007) comentou sobre a importância de nitratos que bloqueiam a ação dos protetores de corrosão que normalmente inibem o crescimento microbiológico. Uma vez que os rejeitos apresentaram ausência de bactérias heterotróficas e ausência de coliformes totais, provavelmente o teor de nitratos encontrado pode não provocar danos aos sistemas.

Em relação à contaminação microbiológica das águas de abastecimento de torres e caldeiras, não há uma recomendação nem quanto ao quantitativo de bactérias heterotróficas e nem ao de coliformes totais (EPA, 1992). Segundo Mancuso (2001), o maior risco de contaminação microbiológica para as torres de resfriamento são as algas, os fungos e as bactérias, pois esses organismos encontram condições adequadas para seu crescimento. Crook, Okun e Principe (1994) alertaram sobre a presença de *Legionella pneumophila* em água de abastecimento de torres devido ao risco de disseminação da Doença dos Legionários quando adotado a água de reúso direto sem tratamento. A presença de micro-organismos na água que alimenta as torres pode propiciar a formação de lama e biofilme que prejudica a eficiência dos equipamentos na troca térmica, mas o uso de biocidas normalmente é eficaz no seu controle (MANCUSO e MANFREDINI, 2009). As amostras de rejeito coletadas não apresentaram contaminação por bactérias heterotróficas e ausência de coliformes totais. Este resultado mostra que

esta água possui um menor risco de contaminantes microbiológicos o que favorece o seu uso nessas utilidades podendo inclusive reduzir o consumo de biocidas em sua operação.

Uma vez que o pH foi o único parâmetro em que os rejeitos P1, P2 e P3 não atenderam as exigências da norma utilizada para água que abastece os sistemas de caldeiras e/ou torres de resfriamento, foi realizado um pequeno ensaio de bancada com a mistura de 10 mL de água potável com 50 mL do rejeito P1. Esta dosagem foi suficiente para a redução do pH a níveis mais aceitáveis para a sua utilização nos dois sistemas onde foi observada a sua queda a 8,0. Isto mostra que uma simples mistura da água de rejeito do sistema de osmose com água potável que abastece as torres de resfriamento pode favorecer o enquadramento da sua qualidade nos termos exigidos pela EPA (1992).

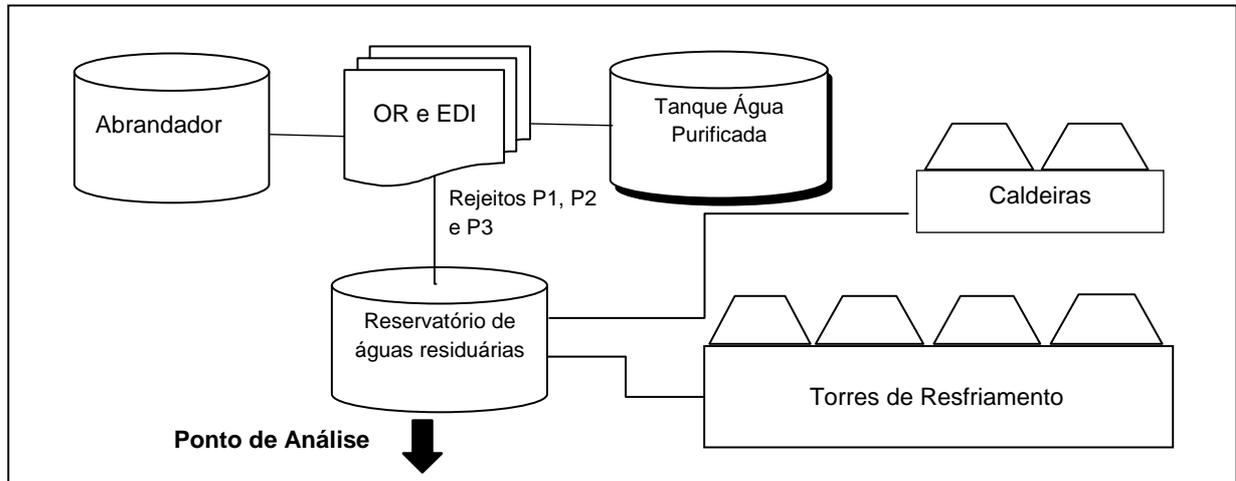
O volume de água consumido nos anos de 2012 e 2013 pelas torres de resfriamento foi em torno de 40.000 m³/ano. A quantidade máxima de rejeito do sistema de produção de água purificada (P1) adotando 50% de descarte (recomendado pelo fabricante) neste mesmo período chegou a 32.500 m³; logo, esta quantidade corresponde a um pouco mais de 80 % de toda a água necessária para a refrigeração no CTV. Neste caso, este rejeito poderia ser totalmente utilizado no sistema de torres de resfriamento sendo necessária uma mistura com a água de abastecimento o que poderia reduzir o pH deste rejeito. O consumo de água pelas caldeiras neste período foi em média de 13.000 m³/ano, logo o rejeito P1 seria totalmente suficiente para atender as necessidades deste setor do CTV.

Este estudo mostrou que os efluentes industriais gerados durante a produção de água purificada (P1, P2 e P3) podem ser reciclados internamente para as torres de refrigeração e/ou caldeiras para geração de vapor industrial do Complexo Tecnológico de Vacinas. Adotando as definições da OMS (OMS, 1973) sobre reúso de água, esta proposta se enquadraria no reúso de água diretamente em um sistema fechado para às instalações industriais sem a necessidade de tratamento. Eksangsri e Jaiwang (2014) mostraram o reaproveitamento de até 70% da água purificada utilizada nas etapas de lavagem dos componentes eletrônicos em uma

indústria eletrônica na Tailândia. Neste estudo o rejeito industrial das lavadoras foi reciclado em um circuito fechado para os processos de purificação de água por osmose reversa e/ou deionização. Os autores afirmaram que esta alternativa favoreceu a ampliação da unidade de fabricação de componentes eletrônicos com um reduzido impacto no consumo de água, uma vez que as regulamentações para a extração de água na Tailândia são restritas quanto a retirada para fins industriais. Os setores petrolíferos e nas refinarias, por exemplo, requerem grandes quantidades de água para suas necessidades o que justifica a aplicação de reúso tendo grandes vantagens na economia financeira em relação ao consumo de água podendo ainda usar este benefício como portfólio melhorando a sua imagem em relação à conservação ambiental (KRAEMER, 2009). Embora o gasto de água pelo sistema de refrigeração da indústria de imunobiológicos não seja tão elevado quanto em uma indústria petrolífera e petroquímica, este setor mostrou ser o segundo maior consumidor de água no CTV em Bio-Manguinhos (Figura 9, pág. 58) correspondendo à metade da água que abastece os sistemas de osmose reversa.

A aplicação do reúso direto dos rejeitos do sistema de osmose nas torres de refrigeração e/ou geração de vapor industrial reduziria o consumo direto de água em torno de 10 a 17% de toda água que abastece o CTV. Isto desoneraria o setor produtivo em um pouco mais de 500 mil reais por ano. Nesta perspectiva o custo estimado da água de abastecimento das torres de resfriamento para o setor de produção de imunobiológicos no CTV cairia de R\$ 16,00 o metro cúbico para R\$ 3,20, que é uma redução maior do que a encontrada por Hespanhol (2002) para a cidade de São Paulo. A execução deste projeto requer um levantamento mais detalhado dos custos de implantação, manutenção e controle, bem como dos impactos deste resíduo nas torres de refrigeração e/ou caldeiras. Nesta perspectiva este estudo sugere a construção de um reservatório da água residuária dos sistemas de osmose, bem como do descarte do COT e ozônio para avaliação e um bombeamento direto deste tanque para o abastecimento das torres e/ou das caldeiras conforme mostra a Figura 10 (pág. 62).

Figura 10. Proposta de Reúso de Água de Rejeito da Osmose Reversa no CTV



Notas: P1 – Rejeito OR, P2 – Rejeito COT; P3 – Rejeito O₃; OR – Osmose Reversa; COT – Carbono Orgânico Total; O₃ – Ozônio; as linhas pontilhadas correspondem a proposta deste estudo.

6 – CONCLUSÕES

Este trabalho realizou um estudo sobre a possibilidade de reúso direto da água residuária gerada durante a produção de água purificada nos sistemas de osmose reversa da Indústria de Imunobiológicos no Centro Tecnológico de Vacinas (CTV) de Bio-Manguinhos/FIOCRUZ. Em função do levantamento bibliográfico, esta abordagem é inédita. Embora o tema seja de suma importância no âmbito ambiental, econômico e social, poucos estudos foram encontrados nos meios de informação científicas mais relevantes.

A Central de Tratamento de Água para a produção de água purificada e abrandada é a maior consumidora de água do CTV, seguido pelas torres de resfriamento. O custo médio da água que atende às necessidades do CTV é de R\$ 3.000.000,00 e o consumo per capita de água nesta unidade foi de 2 m³/1.000 doses de vacinas ou biofármacos, ou seja, 2.000L de água/L de produto imunobiológico.

O volume descartado pela unidade de osmose reversa está entre 10 e 17% de toda a água que abastece o CTV o que corresponde a quase toda a água utilizada nas torres de resfriamento e que supera as necessidades das caldeiras. De acordo com as exigências da EPA (1992) para água que abastece essas utilidades, essa água residuária supera as expectativas para uma reciclagem direta, ou seja, o reúso sem a necessidade de qualquer tipo de tratamento. A partir da aplicação deste projeto, estima-se que este reúso no CTV possa gerar uma economia direta média quanto ao consumo de água em torno de 30.000 m³ o que corresponde a R\$ 500.000,00 a cada ano.

7 – REFERÊNCIAS

ALVES, S. S. **Conservação e reúso de água em indústria de cosméticos: estudo de caso da Natura Cosméticos**. 2009. 130p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.biblioteca.btu.unesp.br/Home/Referencias/LuABNT_6023.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **A evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil**. 2003. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 22 mai. 2013.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Guia de Qualidade para Sistemas de Purificação de Água para Uso Farmacêutico**. 2012. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/07e3b0804e58a721b21cf24e8ff0a428/guia+purifica%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1gua.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução - Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 17, de 16 de abril de 2010. Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 16 nov. 2010a.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N.º 49, de 23 de novembro de 2010, aprova a **Farmacopeia brasileira, 5ª. Edição**. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 24 nov. 2010b.

ASANO, T. Planning and implementation of water reuse projects. **Water Sci. and Techn.**, v. 24, n. 9, p 1–10, 1991.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1360p.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Sci. and Techn.**, v. 33, n. 10, p. 1-14, 1996.

ASANO, T. *et al.* Water Issues: Current Status and Role of Water Reclamation and Reuse. In: _____. **Water Reuse: issues, technologies, and applications**. United States of America: Metcalf & Eddy, 2007. Cap. 1, p. 4-33.

BARBOSA, F. L. **Regulamentação do reúso da água em refinarias—análise do modelo americano e perspectivas para o cenário nacional**. 2007, 268 p. Dissertação (Mestrado) - Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/mbarbosafil.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2013.

BIO-MANGUINHOS (FIOCRUZ). **Programa de Monitoramento de Águas**. Rio de Janeiro, 2013.

BIXIO, D et al.. Water reclamation and reuse: implementation and management issues. **Desalination**, n. 218, p. 13-23, 2008.

BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997. 14p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 20 de 18 de junho de 1986. **Classifica as águas doces, salobras e salinas à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 30 julho. 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Consumo sustentável: manual de educação**. Brasília, 2005a, 160p.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf>. Acesso em 23 mai. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54 de 28 de novembro de 2005 b. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, 09 mar. 2006.

BRASIL. Lei n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011, **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2011.

BROOKE, M; McKELVEY, K.K. **The Industrial Cooling Tower.** Amsterdam: Elsevier, 1959. 429p.

BRUINSMA, J.. The resource outlook to 2050. In:. Expert meeting on “How to Feed the World in 2050, 2009, Roma. **Proceeding...** FAO, 2009. 33 p.

BRUM, L. F. W.; SANTOS JÚNIOR, L. C. O.; BENEDETTI, S. Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios. In: INTERNACIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2, 2009, São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/5/L.%20F.%20W.%20Brum%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

CASANI, S.; ROUHANY, M.; KNOCHER, S.. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Res.**, v. 39, n. 6, p. 1134-1146, 2005.

CAVALCANTE, L. M.; MACHADO, L. G. T.; DE LIMA, A. M. Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas. **Amb. e Água**, v. 8, n. 3, p. 191-202, 2013.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. **TARIFAS 2012.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/div/EstruturaTarifaria2012.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2013.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. **TARIFAS 2013.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/div/EstruturaTarifaria2013.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

CIRRA. CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA. **Conceitos de Conservação de Água, Reúso e Coleta, Tratamento e Uso de Águas Pluviais**, São Paulo, 2009. Disponível em: <HTTP://www.ambiente.sp.gov.br/crhicomites.php>, acesso em: 20 mai. 2013.

CROOK, J.; SURAMPALLI, R Y. Water reclamation and reuse criteria in the U.S. **Water Sci. and Techn.** v.33, n.10-11, p. 451–462, 1996.

CROOK, J.; OKUN, D.A.; PRINCIPE, A.B. **Water reuse**. v.1. Alexandria: **Water Env. Resc. Found.**, 1994. Disponível em: < https://www.redwoodcity.org/publicworks/pdf/RWC_Recycled_Water_Proj_SectionAppendixA.pdf>. Acesso em: 30 set. 2013.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, 2008.

DA SILVA, R. C. B.; PONTES FILHO, T. R. Corrosão do aço carbono em meio sulfato na presença da bactéria *Salmonella anatum*. **Rev. Matéria**, v.13, n.2, p.282-293, junho 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762008000200006&script=sci_arttext>. Acesso em: 16 abr. 2014.

DE ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reúso. **Vértices**, v.13, n.2, p. 31-44, 2011. Disponível em: < <http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20110012>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

DE MORAES, J. E. **Estudo da corrosão microbiológica no aço inoxidável AISI 316 em Na 2SO 4 0,5 mol L -1**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado) – Programa em Química Aplicada, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, 2008. Disponível em: < http://tede.unicentro.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=59>. Acesso em: 20 mar. 2014.

DE SOUZA, E. A. **Avaliação de Inibidores de Corrosão para Sistemas de Resfriamento Industrial Operando com Ciclo Elevado de Concentração**. 2007, 90f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em:

<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2004/LilianPereiraMachadoPEAMB_2004.pdf >. Acesso em: 11 nov. 2013.

EKSANGSRI, T.; JAIWANG, T. Feasibility Study on Reuse of Washed Water in Electronic Industry: Case Study for Flexible Printed Circuit Board Manufacturing in Thailand. **Proc. Env. Sci**, v.20, p.206-214, 2014.

EPA – **Environmental Protection Agency**. Guidelines for Water Reuse. Washington 1980.

EPA – **Environmental Protection Agency**. Guidelines for Water Reuse. Washington 1992.

FAO - [AQUASTAT](#) - by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Information System on Water and Agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>. Acesso em: 27 mar. 2014.

FINK, D. R.; SANTOS, H. F. dos. A Legislação de Reúso de Água. In: MANCUSO P. C.; DOS SANTOS, H. F. (Ed. Manole Ltda). **Reúso de Água**. São Paulo: ABES, 2003. p. 267-268, 276-277.

HELLER, L; DE PÁDUA, V. L.. **Abastecimento de água para consumo humano**. In:_____. Editora UFMG, 2006. p.38-49.

HESPANHOL, I. et al. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Rev. Bras. de Rec. Hídr.**, v.7, n.4, p.75-95, 2002.

HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. M. **Conservação e Reúso de água: Manual de Orientações para o Setor Industrial**. In:_____. FIESP, 2006. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004>> Acesso em: 10 mar. 2013.

KRAEMER, C. F.. **Construção e pré-operação de uma planta piloto de osmose inversa e nanofiltração na indústria**. 2009. 183f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/18942> >. Acesso em: 14 set. 2013.

MACHADO, L.P. **Reúso de esgotos sanitários tratados para fins de água de reposição em torres de resfriamento – sistemas semi-abertos**. 2004. 181f – Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=136>>. Acesso em: 13 dez. 2013.

MACHADO, C. J. S. Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios. **Amb. e Soc.**, v.6, n.2, p.121-136, 2003.
MAGALHÃES, F. C; BAPTISTA, W. Critérios para Avaliação da Corrosividade de Solos por Bactérias Redutoras de Sulfato. **Anais... CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS**, 6., 2002, Salvador: Bahia 2002. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/ingles/sitio/biblioteca/material/PDF/COTE228.PDF>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

MANCUSO, P. C. **Reúso de água para torres de resfriamento**. [s.n.]. São Paulo, 2001. 18 p. Disponível em: <<http://www.bvs-sp.fsp.usp.br/tecom/docs/2001/man001.pdf>>. Acesso em 12 ago. 2013.

MANCUSO, P. C.; DOS SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Ed. Manole Ltda, 2003. 576p.

MANCUSO, P. C.; MANFREDINI, B. Reúso de água em sistema de resfriamento. estudo de caso: subestação conversora de energia furnas centrais elétricas. **Port. Trat. Água**, maio 2009. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=816>. Acessado em: 01 jun. 2013.

MARTINELLI JR, L. C. **Geradores de Vapor**. [s.d.]. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 141 p. Disponível em: <<http://www.unijui.tche.br/~martinelli/mt1.htm>>. Acessado em: 01 jun. 2014.

MARTINS, G e ALMEIDA, J.C.V. **Reúso e Reciclo de Águas em Indústria Química de Processamento Dióxido de Titânio**. 1999. 69f. Monografia (Especialização) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 1999.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak**

Brasileira. 2002. 376f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14112002-203535/pt-br.php> Acesso em: 12 jan. 2014.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**, São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA J.C; RODRIGUES L .B.; SILVA M. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria**. Rio de Janeiro: Divisão de Documentação e Normas – Biblioteca Sistema FIRJAN, 2007. Disponível em: <http://www.firjan.org.br/data/pages/2C908CE9215B0DC4012164A77509221B.htm> Acesso em: 15 ago. 2013.

MONTGOMERY, J. M. **Water treatment: principles and design**. Nova York: John Wiley & Sons, 1985. 652p.

MUJERIEGO, R; ASANO, T. Tratamento avançado em esgotos, água recuperada e reúso. **Water Sci. and Techn.**, v. 40, p. 1-9. 1999.

NOGUEIRA. P. F. Escassez de água - água reutilizada para afastar o fantasma da seca . In: BILIBIO, C.; HENSEL, O; SELBACH, J. F (UNIPAMPA.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics** . Rio Grande do Sul: Fundação Universidade Federal do Pampa, 2011. p.1358. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=reúso.htm>>. Acesso em: 04 nov. 2013.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Geneva, 1971. Disponível em: < http://www.who.int/ageing/mulheres_saude.pdf > Acesso em 22 mai. 2013.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards (Technical Report Series number 517)**. Geneva, 1973. Disponível em: < http://www.who.int/ageing/mulheres_saude.pdf > Acesso em 22 mai. 2013.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Internactional Decade for Action Water for Life 2005-2015**. Genebra, 2005. Disponível em:

<<http://www.onu.org.br/page/2/?s=popula%C3%A7%C3%A3o+sem+%C3%A1gua+at%C3%A9+2025>> Acesso em 22 mai. 2013.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Water for Life 2013**. Genebra, 2013. Disponível em:

<<http://www.onu.org.br/page/2/?s=popula%C3%A7%C3%A3o+sem+%C3%A1gua+at%C3%A9+2025>> Acesso em 22 mai. 2013.

MARINGÁ. Decreto nº. 6.076 de 21 de janeiro de 2003. **Dispõe sobre o reúso de água não potável e dá outras providências**. Paraná, 21 jan. 2003.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel-Estudo de Caso**. 2003. 379f. -Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em:

<<http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=136>>. Acesso em: 13 dez. 2013.

REBOUÇAS, A.C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Anal. e Dados**, v.13, p.341-345, 2003.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº. 23.940 de 30 de janeiro de 2004a. **Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem**. Rio de Janeiro, 02 fev.2004.

RIO DE JANEIRO. Projeto de Lei nº 1.350/2004b. **Torna obrigatória a utilização de sistema de reúso de água servida e o uso das águas pluviais para fins não potáveis nas edificações que especifica, situadas no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004.

RIBEIRO; A.C; DALPRAT-FRANCO L.C. Corrosão interna de tubos de trocador de calor - estudo de caso. **Anais... CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA**, 8., 2007, Peru. Disponível em: <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/29/29-22.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2014.

RODRIGUES, R. S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil**, 2005. 177f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03112005-121928/pt-br.php>>. Acesso em: 13 dez. 2013.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **TARIFAS 2012**. São Paulo, 2012. Disponível em :
<[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/A82D4D0D0D07A24883257B5F006D9400/\\$File/deliberacao_arsesp_406.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/A82D4D0D0D07A24883257B5F006D9400/$File/deliberacao_arsesp_406.pdf)> Acesso em 10 dez. 2013.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **TARIFAS 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em :
<<http://www.arsesp.sp.gov.br/RevisoesReajustesBiblioteca/Nota%20T%C3%A9cnica%20Reajuste%20Sabesp%202013.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2013.

SANTANA, P.C. **Transferência de tecnologia: inovação na área de imunobiológicos – o papel estratégico da logística internacional**. 2012. 120f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20514/20514_1.PDF>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SÃO PAULO. Decreto nº. 48.138 de 07 de outubro de 2003. **Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo**. São Paulo, 08 out. 2003.

SIGAM. Sistema Integrado de Gestão Ambiental. Disponível em:
<<http://sigam.ambiente.sp.gov.br>>. Acessado em 02 set. 2013.

SILVA JUNIOR, C. **Análise da situação da gestão de recursos hídricos no distrito industrial de Uberlândia – MG: O modelo da Souza Cruz S/A**. 2009. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2009. Disponível em:
<http://www.ig.ufu.br/sites/ig.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Anexos_Clovis.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **TARIFAS 2012**. São Paulo, 2012. Disponível em:
<[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/A82D4D0D0D07A24883257B5F006D9400/\\$File/deliberacao_arsesp_406.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/A82D4D0D0D07A24883257B5F006D9400/$File/deliberacao_arsesp_406.pdf)>. Acesso em 10 dez. 2013.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **TARIFAS 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em:

<http://www.arsesp.sp.gov.br/RevisoesReajustesBiblioteca/Nota%20T%C3%A9cnica%20Reajuste%20Sabesp%202013.pdf>. Acesso em 10 dez. 2013.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura. **Coping with water scarcity - International Hydrological Programme**. 2002. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001278/127846e.pdf> Acesso em 01 fev. 2014.

U.S. Pharmacopeia. The United States Pharmacopeial Convention, 35a. ed., 2012.

WWAP - World Water Assessment Programme **Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos**. Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/water-resources>. Acesso em 01 fev. 2014.

WWAP - World Water Assessment Programme - **Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/water-resources>. Acesso em 01 fev. 2014.

WWAP - World Water Assessment Programme - **Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/water-resources>. Acesso em 01 fev. 2014.