

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA HÍDRICA

GESTÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA: ESTUDO DE CASO DA
FÁBRICA DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

LUIS ALBERTO LAGE

Itajubá, 25 de fevereiro de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA HÍDRICA

GESTÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA: ESTUDO DE CASO DA
FÁBRICA DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

LUIS ALBERTO LAGE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Hídrica.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida

25 de fevereiro de 2022
Itajubá

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO
CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE
ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura: _____ Data ___/___/___

Catálogo na Publicação (CIP) Biblioteca Mauá - BIM
Universidade Federal de Itajubá

LAGE, Luis Alberto
Gestão de Água na Indústria:
Estudo de Caso da Fábrica de Combustível
Nuclear / Luis Alberto Lage. – Itajubá: UNFEI,
2022.
Dissertação (mestrado) –
Universidade Federal de Itajubá, 2022.
Orientador: Roberto Alves de
Almeida.
I. Conversação de água. II. Reuso
de água. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA HÍDRICA

LUIS ALBERTO LAGE

GESTÃO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA: ESTUDO DE CASO DA
FÁBRICA DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

Dissertação aprovada por banca examinadora em
25 de fevereiro de 2022, conferindo ao autor o
título de *Mestre em Ciências no Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Hídrica*.

Banca Examinadora:
Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida (Orientador)
Prof. Dra. Ana Paula Moni Silva
Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Junior

Itajubá
2022

*A minha querida filha Nina,
a minha esposa Rebecca,
aos meus pais, irmãos e família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pela saúde e forças em superar as dificuldades enfrentadas e por ser meu refúgio e fortaleza, socorro bem presente nas angústias.

A minha querida e linda família pela grata dedicação, apoio e incentivo aos estudos.

A minha querida irmã de coração Renata Abreu Paganotti pelo carinho e ajuda de sempre.

Ao Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida, meu orientador, pela dedicação, pelos ensinamentos e por todo o suporte. Aos demais professores, alunos e profissionais da UNIFEI, por toda a ajuda e contribuição na realização deste trabalho.

A Indústria Nucleares do Brasil S. A. – INB, pela cessão parcial da carga horária em prol do desenvolvimento deste trabalho e seus empregados, representada aqui pelo Diretor Márcio Adriano Coelho da Silva. Em especial, agradeço, ao engenheiro químico (atualmente aposentado) Jorge José de Barros pelo estímulo na pesquisa sobre águas e a bióloga Flávia Cristina de Almeida Cordovil Pires, ao biólogo Wagner de Souza Pereira, ao engenheiro João Carlos Aguiar Gaspar Junior e a engenheira Daiana Azevedo de Souza Lima, por toda ajuda e contribuição.

Ao engenheiro Reginaldo Ferreira e a pedagoga Emanuelli de Fátima Silva Fonseca que num momento de desespero me socorreram e tive a grata oportunidade de continuar este estudo.

*O SENHOR é o meu pastor,
nada me faltará.
Salmos 23:1*

RESUMO

O setor industrial é o 3º maior usuário de água no Brasil, perdendo para a agricultura irrigada e para o abastecimento humano. Dentre os diversos segmentos industriais, tem-se o de produção de dióxido de urânio, que é representado por uma única empresa estatal, a Fábrica de Combustível Nuclear - FCN, localizada na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, considerada estressada, razão pela qual entende-se que a adoção de boas práticas hídricas é de interesse desta empresa. Visando a contribuir com a gestão de água na FCN, e se baseando em pesquisa bibliográfica de trabalhos teóricos e práticos afetos à gestão de água no setor industrial, está sendo proposto um sistema de gestão que envolve a instituição de um gestor responsável pela implementação de um programa de conservação de água, cuja eficácia do plano de ações pode ser avaliada por indicadores de performance hídrica aplicada à planta industrial, aos setores ou aos processos industriais que indicarão ao gestor a qualidade das decisões tomadas e a necessidade de ajustes. Também foi desenvolvido um sistema informatizado de cadastro e registro dos dados coletados e de cálculo dos indicadores denominado SIGAED. Assim, os objetivos traçados para esta dissertação foram alcançados e desafios à continuidade deste trabalho foram apresentados.

Palavras-Chave: gestão de recursos hídricos; conservação de água; sistemas hídricos industriais; indústria nuclear.

ABSTRACT

The industrial sector is the 3rd largest user of water in Brazil, losing to irrigated agriculture and human supply. Among the various industrial segments, there is production of uranium dioxide, which is represented by a only public company, the Fábrica de Combustível Nuclear (FCN), located in the Hydrographyc Basin of the Paraíba do Sul, considered stressed, reason that it understands that the adoption of good water practices is interest of this company. Aiming to contribute with water management at FCN and basing on bibliographic research of theoretical works and practical related to water management in the industrial sector was proposed a management system that involves the institution of a responsible manager for the implementation of a water conservation program, whose effectiveness of the action plan can be evaluated by water performance indicators applied to the industrial plant, sectors or industrial processes that will indicate to the manager the quality of the decisions made and need for adjustments. A computerized system for register collected data and calculation of indicators called SIGAED was also developed. Thus, the objectives strokes for this dissertation were achieved and challenges to the continuity of this work were presented.

Keywords: water resources management; water conservation; industrial hydric systems; nuclear industry.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da retirada de água no Brasil, de 2019 a 2030	21
Figura 2 - Distribuição das demandas por tipologia industrial (retirada e consumo)	21
Figura 3 - Modelo geral de governança da água	25
Figura 4 - Principais Usos da Água na Indústria	28
Figura 5 - Diagrama para desenvolvimento do PCRA	34
Figura 6 - Fluxos hídricos	41
Figura 7 - Adaptado da demanda hídrica ou produção do efluente x tempo	44
Figura 8 - Indicador x variável de referência	45
Figura 9 - Curva de referência e possíveis situações de mudança	46
Figura 10 - Fluxograma da dissertação	47
Figura 11 - Gerenciamento de Programa de Gestão de Água na Indústria	51
Figura 12 - Vista aérea da área total da FCN	54
Figura 13 - Vista aérea da FCN	55
Figura 14 - Localização do sistema de captação e tratamento de água da FCN	56
Figura 15 - Fluxograma de Água e Efluente da FCN	58
Figura 16 - Diagrama de Água e Efluente da FCN	69
Figura 17 - Matriz Hídrica da FCN	70
Figura 18 - Procedimento para Utilização da Planilha SIGAED	73
Figura 19 - Tela Inicial da Planilha SIGAED	74
Figura 20 - Tela “OUT” (OUTORGA) da Planilha SIGAED	74
Figura 21 - Tela “AJOP” (AJUSTE OPERACIONAL) da Planilha SIGAED	75
Figura 22 - Tela “ED” (ENTRADA DE DADOS) da Planilha SIGAED	75
Figura 23 - Tela “PD” (PROCESSAMENTO DE DADOS) da Planilha SIGAED	76
Figura 24 - Tela “RD” (RESULTADOS DOS DADOS) da Planilha SIGAED	76
Figura 25 - Tela “DAE” (DIAGRAMA DAS ÁGUAS, ESGOTOS E DESPEJOS INDUSTRIAIS) da Planilha SIGAED	77
Figura 26 - Tela “GD1” (GRÁFICO DOS DADOS 1) da Planilha SIGAED	77
Figura 27 - Tela “PCA” (PLANO DE CONTROLE DA AMOSTRAGEM) da Planilha SIGAED	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Adaptado das principais dificuldades associadas aos Programas de Conservação e Reuso de Água (PCRA)	36
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Adaptado das Maiores Vazões de Retiradas (m ³ /s) por Cidade (2017)	20
Tabela 2 - Modelo do Plano de Ação para Gestão Hídrica na FCN	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIESP	Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FCN	Fábrica de Combustível Nuclear
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INB	Indústrias Nucleares do Brasil S. A.
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ISO	Internacional Organisation for Standarization
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
PCA	Programa de Conservação de Água
PCRA	Plano de Conservação e Reuso de Água
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
CEA	Consumo Específico de Água
LEE	Lançamento Específico de Efluente
PROD	Produção da Planta Industrial
UEA	Uso Específico de Água
VC	Volume de Água Consumida
VMP	Volume de Água Agregada a Matéria-Prima
VOC	Volume Outorgado de Captação
VOL	Volume Outorgado de Lançamento
VPI	Volume de Perdas Involuntárias
VPV	Volume de Perdas Voluntárias
VR	Volume Restituído ao Corpo Receptor
VRC	Volume de Reserva de Outorga de Captação
VRL	Volume de Reserva de Outorga de Lançamento
VU	Volume de Água Utilizada
DQO	Demanda química de oxigênio

SDT

Sólidos dissolvidos totais

LISTA DE SÍMBOLOS

ε_a – Eficiência alocativa

ε_h – Eficiência hídrica

i_a – Ineficiência alocativa

i_h – Ineficiência hídrica

kg – Quilograma

l – Litro

l/un – Litro por unidade

m² – Metro quadrado

m³ – Metro cúbico

m³/dia – Metro cúbico por dia

m³/h – Metro cúbico por hora

m³/mês – Metro cúbico por mês

pH – Potencial hidrogeniônico

t – Tonelada

UO₂ – Dióxido de urânio

SUMÁRIO

1	<i>INTRODUÇÃO</i>	17
2	<i>OBJETIVOS</i>	19
	2.1 Geral	19
	2.2 Específicos	19
3	<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	20
	3.1 A Relevância do Setor Industrial na Demanda Hídrica Brasileira	20
	3.2 Aspectos Legais Correlatos à Gestão de Recursos Hídricos Afetos ao Uso Industrial da Água no Brasil.....	22
	3.3 A Gestão da Água na Indústria.....	23
	3.4 Conservação da Água na Indústria	27
	3.5 Indicadores de Performance Hídrica	39
4	<i>METODOLOGIA</i>	47
5	<i>PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA PARA A FCN</i>	49
	5.1 O Gestor de Água da FCN.....	49
	5.2 O Programa de Conservação de Água na FCN.....	52
	5.2.1 Pré-Diagnóstico Hídrico.....	53
	5.2.2 Descrição da FCN	54
	5.2.3 Os Sistemas Hídricos Industriais da FCN	55
	5.2.4 Diagnóstico Hídrico	71
	5.2.5 Performance Hídrica na FCN	72
	5.2.6 Sistema de Gerenciamento de Águas, Efluentes e Despejos Industriais da FCN - SIGAED.....	72
6	<i>CONCLUSÃO</i>	80
7	<i>PROPOSIÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS</i>	81
8	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	82

1 INTRODUÇÃO

Até o século 20, o meio ambiente era considerado uma fonte infinita de recursos e um depósito infinito de rejeitos, não sendo fator de preocupação ao desenvolvimento econômico e social. Porém, em 1968, um grupo de 30 pessoas de 10 países se reuniram na *Accademia dei Lincei*, em Roma, para discutir temas correlatos à sustentabilidade ambiental, ou seja, o uso indiscriminado dos recursos naturais. Este grupo se comprometeu, através da elaboração de estudos, a sensibilizar os líderes mundiais de forma a garantir um desenvolvimento sustentável. Nascia então a primeira ação em escala global visando o uso sustentável dos recursos ambientais. Como decorrência desta ação, ocorreu em 1992 a Eco-92, no Rio de Janeiro, cúpula promovida pelas Nações Unidas com o objetivo de debater problemas correlatos ao meio ambiente. Como resultado desta cúpula, o Brasil assumiu diversos compromissos, dentre os quais o de promover uma gestão mais eficaz de seus recursos hídricos, compromisso levado a cabo com a promulgação de Lei 9.433, em 01 de dezembro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), reconhecendo a água como um recurso natural finito e dotado de valor econômico. Em obediência a referida lei, dentre outros segmentos econômicos, as empresas industriais para captam água e lançam efluentes nos corpos hídricos, devem obter uma outorga de direito de uso de recursos hídricos, concedida mediante estudos de disponibilidade hídrica e, no caso de lançamento de efluentes, em qualidade compatível à classe do corpo hídrico receptor.

Com isto, a cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos representa um custo de produção. A cobrança aliada ao risco de escassez hídrica tem induzido ao uso racional deste recurso.

A conservação de água na indústria tem como objetivo mantê-la pelo maior tempo possível em uso na área industrial. Para isto, empregam-se métodos de eliminação de desperdícios, geralmente de origem técnica, procedimental ou atitudinal, bem como se adotam técnicas de fechamento de circuito, nas quais a água depois de utilizada retorna ao mesmo sistema hídrico para a mesma função sem necessidade de tratamento. Há casos em que a água servida é utilizada em outro circuito hídrico, mediante interligação física dos circuitos de forma a possibilitar o transporte de efluente. Este reaproveitamento, denominado reuso, pode se dar de forma direta, ou seja, sem tratamento, ou pode requerer tratamento para adequar sua qualidade a aquela exigida no ponto de utilização. Obviamente, ao se montar um programa de

conservação de água faz-se necessário considerar os custos envolvidos e as economias geradas para se selecionar as ações a serem implementadas e hierarquizar sua implementação.

A Fábrica de Combustível Nuclear – FCN está localizada em Resende-RJ, sendo uma das filiais da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. – INB, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que exerce em nome da União o monopólio da produção de urânio. Ela atua na cadeia produtiva do urânio, o chamado "ciclo do combustível nuclear", que inclui a mineração, o beneficiamento, o enriquecimento isotópico de urânio, a fabricação de pó e pastilhas de urânio e componentes metálicos, assim como a montagem dos elementos combustíveis que suprem as usinas nucleares brasileiras produtoras de energia elétrica. A INB também atua na comercialização de materiais nucleares, na execução de serviços de engenharia do combustível e na produção de componentes para elementos combustíveis. A INB está situada na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, sendo que sua captação de água ocorre no Ribeirão Água Branca. Embora esta empresa não tenha problema de suprimento de água bruta a mesma está comprometida com a sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica na qual se localiza, e suas ações estão previstas no Diagnóstico e Prognóstico da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, razão pela qual está sendo desenvolvida essa dissertação.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão apresentados os objetivos geral e específicos que serão desenvolvidos no decorrer do trabalho e dos quais serão formuladas propostas a serem submetidas à Alta Administração da INB.

2.1 Geral

Propor um programa de conservação de água para a Fábrica de Combustível Nuclear.

2.2 Específicos

- Propor a criação de um órgão gestor de água para a Fábrica de Combustíveis Nucleares; e
- Propor um sistema de gerenciamento informatizado de água para a Fábrica de Combustíveis Nucleares.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a pesquisa bibliográfica de temas correlatos à gestão de água na indústria, como dados e informações hídricas industriais, a legislação, a conservação e a gestão da água na indústria. Tal pesquisa abrange artigos técnicos e trabalhos acadêmicos.

3.1 A Relevância do Setor Industrial na Demanda Hídrica Brasileira

No Brasil, as indústrias concentram-se, sobretudo, na região Sudeste, seguidas pela região Nordeste, Sul e Centro-Oeste, conforme Tabela 1, sendo que as maiores retiradas para o uso industrial ocorrem nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Tabela 1 - Adaptado das Maiores Vazões de Retiradas por Cidade
Fonte: ANA (2019).

Ranking	UF	Cidade	Vazão Retirada (m ³ /s)
1°	SP	São Paulo	4,965
2°	RJ	Rio de Janeiro	4,806
3°	MS	Três Lagoas	3,244
4°	BA	Mucuri	1,921
5°	AL	Rio Largo	1,569
6°	PR	Telêmaco Borba	1,564
7°	AL	Coruripe	1,410
8°	RJ	Volta Redonda	1,351
9°	BA	Camaçari	1,345
10°	SP	Sertãozinho	1,328

Segundo a ANA (2020), o setor industrial é o 3º maior usuário de água, perdendo posição apenas para a irrigação e o abastecimento humano. A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% do total retirado de água nas últimas duas décadas, com previsão de que, até 2030, a retirada aumente em 23%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (Figura 1).

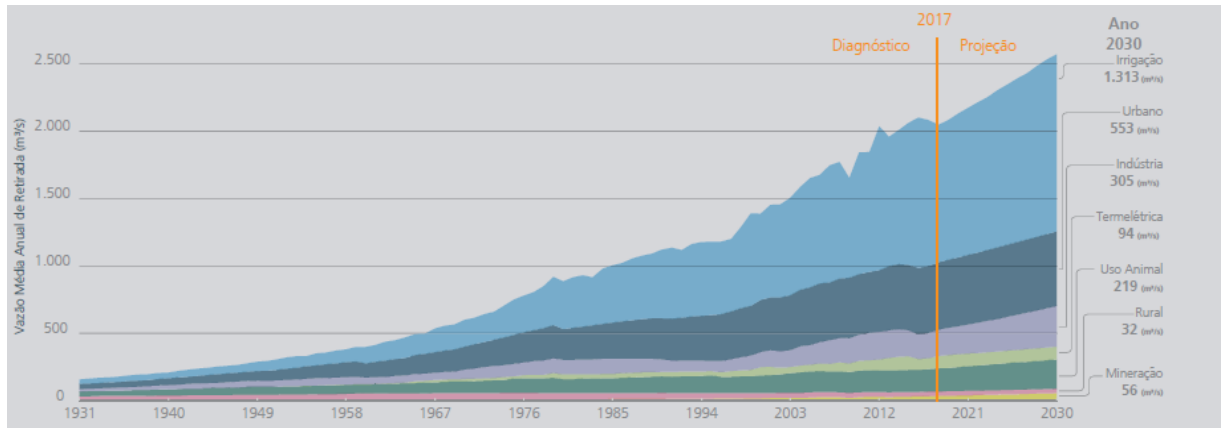


Figura 1 - Evolução da retirada de água no Brasil, de 2019 a 2030.

Fonte: ANA (2019).

A Figura 2 mostra a distribuição das demandas por tipologia industrial (retirada e consumo), sendo que as indústrias de alimentos; bebidas; celulose; papel e produtos de papel; petróleo e combustíveis; produtos químicos e metalurgia correspondem, somadas, a cerca de 85% da demanda de retirada e 90% do consumo no Brasil (ANA, 2019).

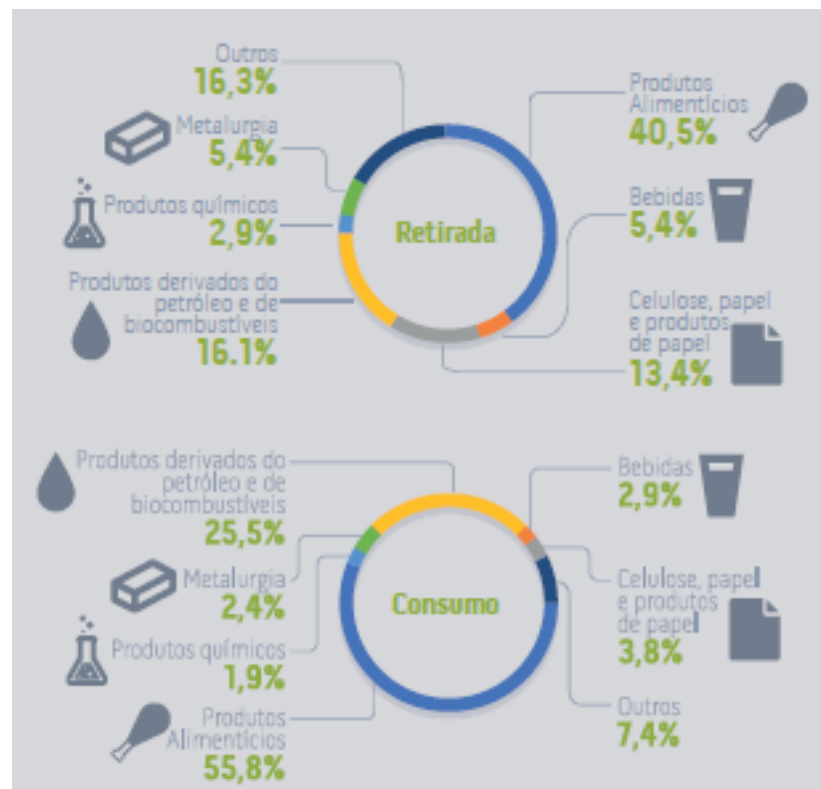


Figura 2 - Distribuição das demandas por tipologia industrial (retirada e consumo).

Fonte: ANA (2019).

3.2 Aspectos Legais Correlatos à Gestão de Recursos Hídricos Afetos ao Uso Industrial da Água no Brasil

É importante que o gestor de água de um empreendimento industrial conheça a dominialidade do corpo hídrico da qual sua empresa se serve, para saber com quais órgãos públicos se relacionar e quais regramentos deverá obedecer. Assim, o artigo 20º da Constituição Federal define os bens de dominialidade da União, dentre os quais destacam-se aqueles elencados no inciso III, a saber “Os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”. Já o artigo 26º define os bens de domínio dos Estados brasileiros e Distrito Federal, dentre os quais destaca-se o inciso I que fixa que as água superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas aquelas de domínio da União ou decorrentes de obras da União.

O Código das Águas, instituído pelo Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934, foi a primeira norma legal que regularizou a dominialidade dos recursos hídricos e buscou, no contexto da época, regulamentar o seu uso, sendo, portanto, um marco na gestão dos recursos hídricos no Brasil. Contudo, a mudança do contexto ambiental mundial, que levou o Brasil a assinar acordos internacionais, acarretou em mudanças na gestão dos recursos resultando na promulgação da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que estabeleceu, dentre seus fundamentos, que a água é um bem de domínio público e dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais. Com isto fica evidenciado que uma indústria é um usuário dos recursos hídricos, sujeito a uma outorga de direito de uso, concedida pelo poder que detém a dominialidade do corpo hídrico do qual se serve. Também, por não ser usuário prioritário, o outorgado industrial está sujeito a uma revisão unilateral da sua outorga, quando, em situação de escassez hídrica, ou seja, quando houver necessidade de atender os usos prioritários. Ainda, o usuário industrial está sujeito ao pagamento de um *royalt* pelo direito que lhe foi concedido, ou seja, a água passa a ser um insumo de produção e, portanto, representa um custo de produção, onerando a matriz de custo das empresas, sendo, portanto, objeto de interesse a redução da captação e da restituição no corpo hídrico, que geralmente é conseguida via programa de conservação de água.

A legislação brasileira com relação aos recursos hídricos não aborda, especificamente, aspectos relativos aos usos da água em uma planta industrial, porém, impõe restrição

qualitativa sobre o efluente industrial a ser lançado em um corpo hídrico receptor, em obediência ao enquadramento estabelecido na da Resolução CONAMA/MMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), que define as classes qualitativas dos corpos hídricos, podendo, por exemplo, um rio ter trechos com classes distintas. Desta forma, o usuário industrial é obrigado a tratar seus efluentes adequando-os à classe do corpo d'água receptor. O enquadramento dos corpos hídricos é, em última análise, um limitante ao sistema de tratamento de efluentes de um usuário ao estabelecer uma qualidade mínima para os efluentes a serem restituídos. O enquadramento é uma meta qualitativa para o corpo receptor, ou seja, os efluentes a serem restituído devem ter qualidade superior à água do corpo receptor. Tal determinação legal provocou melhorias nos sistemas de tratamento de efluente das industriais, o que representou investimentos e elevação dos custos operacionais. Assim, um programa de conservação de água traz como benefício a redução do volume restituído, conseqüentemente representa uma redução de custo operacional do sistema de tratamento de efluentes.

O aproveitamento de águas pluviais foi inserido na PNRH pela Lei 13.501, de 30 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017), embora as normas correlatas tenham sido editadas bem antes, como a NBR 15527 (ABNT, 2019), que trata dos requisitos do aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para captação de chuva para fins não potáveis e a NBR 10844 (ABNT, 1989) que versa sobre as instalações prediais de águas pluviais propícias à drenagem, como coberturas e demais áreas associadas aos edifícios. Embora estas normas se referem às edificações prediais residenciais e comerciais, entende-se que as mesmas devem ser seguidas pelo setor industrial, com a ressalva da restrição do uso potável nas águas coletadas. Entende-se que a restrição imposta é porque os empreendimentos residenciais e comerciais, via de regra, não possuem estação de tratamento de água, o que não é o caso dos empreendimentos industriais de porte médio e grande, consideradas hidroativas. Nestas indústrias há diversas estações de tratamento de água que fornecem todos os tipos de água requeridos, como água bruta, água clarificada, água abrandada, água desmineralizada e água potável.

3.3 A Gestão da Água na Indústria

Segundo Lima (2018), a má gestão da água na indústria eleva os riscos de não atendimento às normas legais e compromete a imagem da organização. No entanto, a boa gestão é um desafio no setor industrial. Em linhas gerais, a gestão da água na indústria compreende basicamente da demanda hídrica e a oferta hídrica, sendo que a demanda compreende o conjunto de ações e investimentos que visam reduzir o consumo de água através da medição e o monitoramento setorizado das entradas e saídas de água. Isso permite

conhecer o balanço hídrico do processo industrial e a construção de indicadores além de reduzir perdas físicas visíveis de água. Uma ação efetiva que promova a redução no consumo de água é decorrente de uma melhor manutenção de equipamentos ou na atualização da tecnologia do processo ou equipamento para uma alternativa que demande um menor consumo de água. Já a gestão da oferta hídrica na indústria compreende o conjunto de ações e investimentos que visam aumentar a disponibilidade de água como o armazenamento de água, recargas de aquíferos e ações locais de substituição de fontes hídricas convencionais como o aproveitamento de água de chuva e reuso de efluente tratado.

O modelo interativo de gestão proposto pela CNI (2017) é mostrado na Figura 3. A partir da decisão da empresa em implementar práticas de boa governança da água, o passo a passo, os prazos e as ferramentas para esse processo dependem principalmente:

- do grau de maturidade da organização;
- da complexidade, do tamanho da organização e da estrutura existente;
- dos recursos disponíveis; e,
- das demandas existentes (mercado, riscos operacionais, riscos de imagem/ reputação, litígios etc.).

A abordagem tecnológica é parte integrante da governança e pode contemplar:

- uso das melhores tecnologias disponíveis, que são baseadas na redução de poluição na fonte geradora;
- a otimização do processo industrial;
- as mudanças de insumos, matérias-primas e de processos; e,
- o reuso e a reciclagem, entre outros.

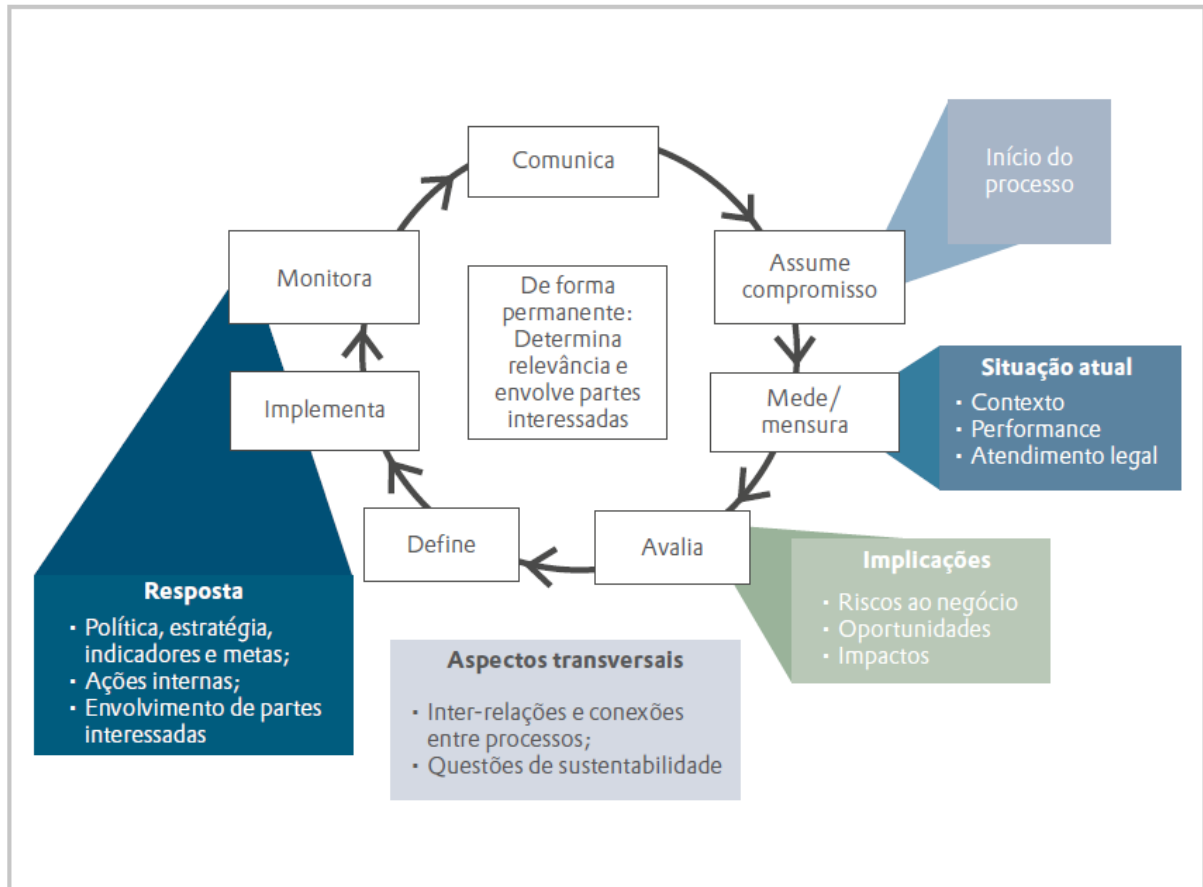


Figura 3 - Modelo geral de governança da água.
Fonte: CNI (2017).

Entretanto, o sistema de gestão, proposto pela CNI (20017), por sua vez, busca, entre outros aspectos, a otimização do uso da água, minimizando e prevenindo os impactos ambientais, enquanto mantém a viabilidade econômica do negócio. As principais premissas para o sucesso desse tipo de programa são:

- Comprometimento da Alta Administração;
- Envolvimento dos empregados;
- Controle adequado dos custos;
- Abordagem organizada, coordenada por equipe multidisciplinar;
- Integração aos demais projetos da empresa;
- Abordagem que considere os aspectos locais e usos múltiplos; e
- Definição e implantação de monitoramento e controle do desempenho dos sistemas e processos.

No entanto, para orientar as organizações e permitir o reconhecimento de seus compromissos, práticas de gestão ambiental, atendimento legal e melhoria contínua, foi desenvolvida a norma de certificação da NBR ISO 14000 (ABNT, 2015b), que estabelece um sistema de gestão ambiental cujo objetivo é prover às organizações uma estrutura para a proteção do meio ambiente e possibilitar uma resposta às mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as necessidades socioeconômicas. E, embora não seja específica à governança de água, o sistema de gestão deve contemplar os aspectos e impactos potenciais associados ao uso da água no processo produtivo. A base dessa abordagem que sustenta um sistema de gestão ambiental é fundamentada no conceito do PDCA, que resumidamente, podem ser assim descritos:

- **Plan** (planejar): estabelecer os objetivos ambientais e seus processos necessários para entregar resultados de acordo com a política ambiental da organização;
- **Do** (fazer): implementar os processos conforme planejado;
- **Check** (checar): monitorar e medir os processos em relação à política ambiental, incluindo seus compromissos, objetivos ambientais e critérios operacionais, e reportar os resultados; e,
- **Act** (agir): tomar ações para melhoria contínua.

Torres et. al. (2018) apresenta um estudo de gestão da água na indústria de alimentos com a finalidade para redução da captação de água bruta e reaproveitamento de água, utilizando a metodologia do PDCA tratada por um sistema de gestão ambiental, que através desse método foi possível identificar as maiores lacunas que deveriam ser priorizadas e tratadas, e concluiu que o reúso da água era a principal ferramenta, pois diminui a captação de água e a reduz o consumo de água na fábrica. Para iniciar este programa de conservação, foi criado um grupo de melhoria de resultados, formado por uma equipe multidisciplinar focada na redução do consumo de água e posteriormente foram realizadas as medições do sistema de água com fechamentos diários da vazão captada. A vazão captada foi monitorada com medidor de vazão ultrassônico instalados na entrada da estação de tratamento de água e na entrada dos grandes usuários de água.

Estas medições alimentaram uma planilha onde eram anotados os valores e as metas definidas, para posterior obtenção de gráficos para visualização de possíveis desvios, para obter maior controle e facilidade no acompanhamento dos consumos e retornos de água. Contudo, foi implantado o balanço hídrico da planta onde foi feita a marcação de todas as entradas, saídas de água, pontos de consumo, circuitos fechados e sistemas de recuperação e

retorno de água. Após a etapa de medição inicial, que durou cerca de um ano, foram utilizados os dados históricos da base de dados e definidas metas para cada uma das áreas produtivas e para os equipamentos considerados grandes consumidores.

Foram criados procedimentos de parada e partida da produção, para que, durante o início e o fim do processo industrial, fosse verificado o correto funcionamento dos equipamentos nos quais era realizado o reaproveitamento de água mediante fechamento de circuito ou a interligação de circuitos, como em torres de resfriamento, por exemplo. Com isto, novos procedimentos operacionais redigidos e incluídos nos Padrões Operacionais de Processo-POPs e todos estes equipamentos foram inclusos em um *check-list*, sendo responsabilidade do supervisor da área verificar o funcionamento dos mesmos. Também, baseado no balanço hídrico, foram identificados e classificados os diversos sistemas que poderiam utilizar água de reuso ou destinar água servida a outros.

Portanto, são mencionadas várias possibilidades de reuso de água sem tratamento, como reserva de proteção contra incêndio; sistemas decorativos aquáticos, fontes e chafarizes, espelhos d'água; descarga de sanitários públicos; abatimento de pó; irrigação de áreas verdes; construção civil; lavagens de pisos, de veículos e de alguns equipamentos; e, utilização em processos industriais e recarga de aquíferos. Este autor informou que foram implantados 46 sistemas de reuso de água e com isto a unidade ultrapassou a meta de 28% de redução do consumo de água.

3.4 Conservação da Água na Indústria

Como já mencionado, a conservação de água na indústria tem por objetivo manter pelo máximo de tempo possível a água em uso na planta industrial. Para tanto, de acordo com o processo industrial, deve-se ser elaborado um Programa de Conservação de Água (PCA), no qual estão descritas as ações a serem implementadas.

A definição destas ações está vinculada à aspectos quantitativos e qualitativos dos fluxos hídricos no processo e às quantidades mínimas de água necessárias para que uma determinada operação ocorra. Para que a gestão da água em uma planta industrial seja eficaz, ou seja, que resulte em redução da captação de água e do lançamento de efluente, é necessário que se estabeleça uma classificação das águas que circulam na planta industrial, razão pela qual se apresenta a seguir classificações sugeridas por pesquisadores e entidades empresariais.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017), classifica a água no ambiente da indústria a partir das inúmeras aplicações, conforme mostra a Figura 4.

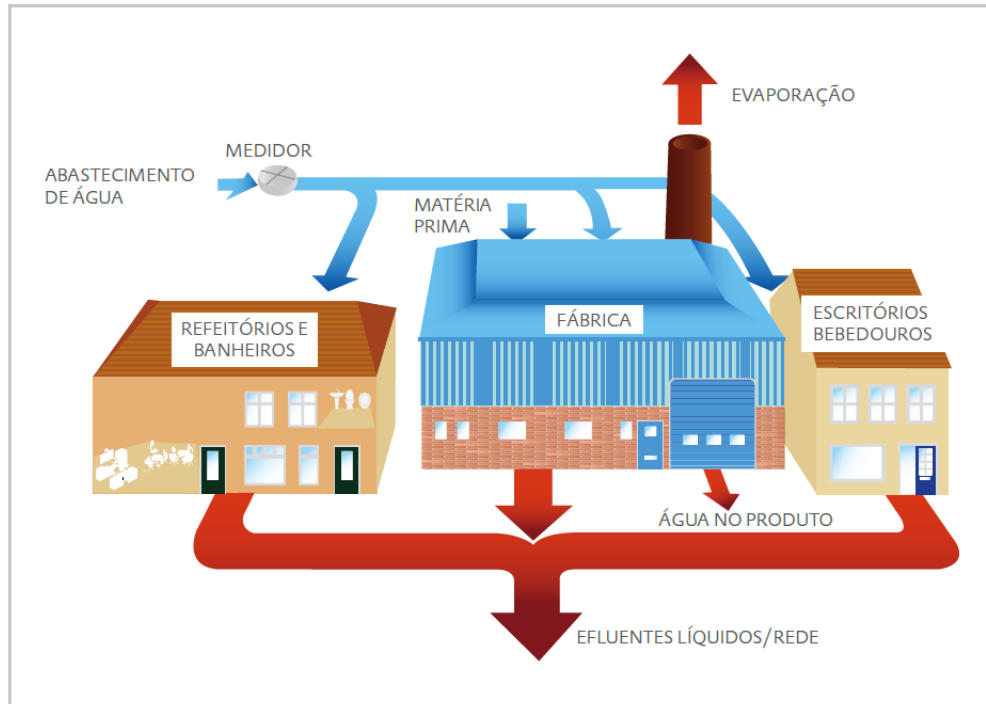


Figura 4 - Principais Usos da Água na Indústria
Fonte: CNI (2017).

Sendo:

- **Sanitário:** água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
- **Matéria-prima:** como matéria-prima, a água, consuntiva ou não consuntiva, será incorporada (consuntiva) ou usada (não consuntiva) ao longo do processo até o produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes (consuntivas), de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica (não consuntivas), de cosméticos (não consuntivas), de alimentos e conservas e de fármacos (não consuntivas), ou então, a água é utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água (consuntiva);
- **Fluido auxiliar:** a água como fluido auxiliar pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo (transporte) ou, ainda, para as operações de lavagem;
- **Geração de energia:** a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica;

- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor; e,
- **Outros usos:** utilização de água para combate a incêndio, produção de mudas de plantio, rega de áreas verdes ou incorporadas em diversos subprodutos gerados nos processos industriais (CNI, 2017).

Já para Mierzwa e Hespanhol (2005), a água na indústria pode ter as seguintes aplicações:

- **Matéria-prima:** como matéria-prima, a água fica incorporada ao produto final (consuntiva) do processo industrial, a exemplo do que ocorre nas bebidas (consuntiva), produtos de higiene pessoal (não consuntiva), fármacos (não consuntiva), etc., bem como para gerar outros produtos, como o hidrogênio (consuntiva);
- **Fluido auxiliar:** a água pode ser utilizada como fluido auxiliar de diversas atividades, como na preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, como veículo ou em operações de lavagem;
- **Geração de energia:** este tipo de aplicação envolve a transformação da energia térmica acumulada na água em energia mecânica. O processo de geração de energia mecânica ou elétrica a partir da energia térmica, consiste na vaporização da água em caldeiras, onde a queima de combustível fornece o calor que é agregado à água. O vapor superaquecido passa por uma turbina a vapor gerando energia mecânica que pode acionar diretamente um equipamento, ou um gerador elétrico para a produção de eletricidade;
- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** a água é usada para aquecer matéria-prima, subprodutos, máquinas e equipamentos, etc. ou para remover o calor gerado nos processos industriais e dissipados para a atmosfera; e,
- **Transporte e assimilação de contaminantes:** a água é utilizada em instalações sanitárias, na lavagem de equipamentos e instalações, ou para incorporação de subprodutos sólidos, líquidos ou gasosos, gerados pelos processos industriais.

Silva e Kulay (2006), definem o uso da água na indústria em duas classes principais: matéria-prima e o uso auxiliar. A água é usada como matéria-prima quando a mesma fica incorporada ao produto final que pode aparecer no produto mantendo sua identidade química,

como nos casos de cervejas, refrigerantes, alguns tipos de alimentos e produtos de limpeza e higiene ou a água entra no processo como um reagente e, como tal, perde sua identidade química, como, por exemplo, no caso da fabricação de ácido sulfúrico ou da obtenção de hidrogênio por eletrólise da água. Já o uso auxiliar de água na indústria pode ser subdividido em algumas categorias distintas, a saber:

- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** a água é usada para aquecer ou resfriar matérias-primas, subprodutos, produtos, máquinas e equipamentos.
- **Veículo:** a água é usada para o transporte de materiais, particularmente para o transporte de materiais sólidos particulados.
- **Lavagem:** consiste na utilização da água para remoção de impurezas presentes em diferentes materiais.

A sistematização das ações voltadas à conservação de água em uma planta industrial afeta a eficiência hídrica no ambiente fabril, seja nas máquinas, equipamentos e sistemas hídricos de transporte (dutos, canaletas), áreas, processos, prédios, etc. Este conjunto de ações pode ser incluído em um Plano de Conservação de Água (PCA) em uma planta industrial e deve estar alicerçado em informações confiáveis, sempre de acordo com o processo industrial.

Mierzwa e Hespanhol (2005) preconizam que para iniciar um programa de otimização de consumo de água em uma indústria é recomendado realizar as seguintes atividades:

- Avaliação dos processos industriais com base em dados de literatura;
- Avaliação dos processos industriais com base em documentos da própria indústria como fluxogramas, documentos descritivos, rotinas operacionais; e,
- Visitas de campo para confirmar os dados obtidos na indústria e identificar possíveis alterações.

Após a realização das atividades acima mencionadas, as informações devem ser agrupadas e as demandas de água e as gerações de efluente devem ser identificadas por categorias de uso, para obter uma melhor compreensão do sistema, possibilitando realizar um balanço hídrico industrial. Também, outros aspectos que devem ser observados para a redução da demanda de água e da geração de efluentes são:

- Eliminação de desperdícios, como perdas por vazamentos, falta de manutenção no sistema, uso de equipamentos não econômicos, etc.;
- Mudança nos procedimentos operacionais aliados aos problemas de escassez de recursos naturais, desde que viáveis técnica e economicamente;

- Treinamento dos operadores com a implementação de programas de treinamento e aperfeiçoamento na conscientização das pessoas envolvidas nos processos operacionais;
- Modernização em substituição de máquinas e equipamentos, onde é grande a probabilidade de existir dispositivos com elevado consumo de água;
- Alteração do método de produção; e
- Evitar o uso de água de melhor qualidade para aplicações menos nobres, como na limpeza de pisos, emprego em aparelhos sanitários, rega de jardins, etc.

Cunha (2006) desenvolveu e aplicou uma metodologia para redução de efluente líquido na fonte, baseada nos princípios da Prevenção da Poluição (PP) e Produção Mais Limpa (P+L), tendo como objetivo principal à busca do Efluente Zero. No estudo, ele utilizou o método PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), por meio da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015a), constituído em uma ferramenta que orientou a sequência de atividades para o gerenciamento da rotina e melhoria contínua dos processos que, no caso, refletiu numa redução da demanda de água, sendo desmembrado na avaliação das perdas hídricas do processo industrial e nas medidas de implantação de redução dessas perdas hídricas.

Na prática, o autor evidenciou a existência de dificuldades para quantificar as perdas hídricas, pois, os instrumentos de medição não eram suficientes, e para suprir esta falta, foi necessário à medição em campo. Em suma, a metodologia estabeleceu que a perda que não se pode evitar na fonte que devia servir de matéria-prima ou insumo para outros processos ou indústrias por meio de reutilização deles, de forma que houvesse o mínimo possível de efluente final no sistema. Assim, o trabalho recomendou o monitoramento da qualidade e da quantidade das perdas através de realização da instalação de auditorias hídricas, relatando as condições da planta industrial no momento da realização da auditoria com intuito de buscar solucionar os problemas relatados na próxima auditoria, tendo como avaliação as mudanças significativas no processo que pudessem influenciar na quantidade e qualidade dos efluentes industriais gerados (CUNHA, 2006).

Lima (2018), cita diversas metodologias para a conservação de água na indústria, como:

- Produção Mais Limpa (P+L): que é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva para processos, produtos e serviços, para aumentar a eficiência global e reduzir os riscos às pessoas e ao meio ambiente. Entre os exemplos mais relevantes para a redução da demanda de água na indústria encontram-se as estratégias

associadas às mudanças no controle ou adoção de outras tecnologias nos processos de trocas térmicas ou nos processos de lavagem e de sanitização.

- **Gestão integrada de polos industriais:** a estratégia de gestão integrada tem resultados bem-sucedidos e seus principais benefícios são integrados à mitigação de riscos, no fortalecimento das interações e sinergias entre as empresas, no aumento da representatividade nas discussões com o estado e sociedade civil e principalmente na viabilização técnica e econômica de ações e de infraestruturas. Um bom exemplo é o caso do Complexo Industrial de Camaçari que apresenta infraestrutura integrada para coleta, tratamento e distribuição de água. Com a evolução do complexo e sua atuação, por meio de um programa de monitoramento ambiental, já faz uso do reuso de água e aproveitamento de água de chuva. Como resultado dessas ações de sustentabilidade hídrica tem-se: o uso racional das fontes hídricas subterrâneas que se evitou problemas de rebaixamento e conseqüentemente riscos de indisponibilidade; programas de controle da poluição na fonte e tratamento sinérgico de efluentes para disposição ambiental adequada e com menor custo operacional; e, a viabilidade técnica e econômica de fontes hídricas alternativas através do tratamento de efluentes industriais e do aproveitamento das águas de drenagens de chuvas de todo o complexo.

FIRJAN (2015) apresenta o Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria contendo as orientações básicas para o desenvolvimento e a implantação de um PCRA, com base na otimização do uso e no reuso identificado pelas características quantitativas e qualitativas da água consumida e dos efluentes gerados em cada setor definidos em 4 etapas, conforme sintetizadas na Figura 5.

A seguir apresenta-se uma descrição das etapas que compõe o PCRA em questão:

- **Etapa 1: Levantamento de dados** - A etapa inicial é composta pelas atividades de levantamento de dados, visitas em campo, análise de documentos e compilação dos dados e informações levantadas. Após a coleta de documentos de engenharia e dados disponíveis é necessária a análise da qualidade desses documentos e dados disponíveis que permitem avaliá-los para a construção de um diagrama de blocos, representando um macrofluxo do processo industrial, desde captação da água bruta até a destinação final dos efluentes industriais, conduzindo a uma avaliação precisa das diferentes demandas. Posteriormente, esta avaliação fornecerá subsídios para a identificação de

ações de conservação de água com prioridade das ações e dos procedimentos conforme sua complexidade e de seus custos de implantação;

- **Etapa 2: Identificação de opções de otimização do uso e reuso da água** - Após a identificação do potencial de redução do consumo de água, se procede a otimização do uso da água, que engloba a identificação das perdas físicas e desperdícios; o acompanhamento, em campo, dos processos que utilizam água; a comparação do consumo de água, por segmento industrial e a produtividade com outras indústrias. Esta avaliação da viabilidade da substituição de equipamentos existentes por modelos mais modernos e mais econômicos no consumo de água e de energia. Esta otimização permitirá a reavaliação das demandas de água e características dos efluentes gerados. Desta forma, com as ações de otimização consolidadas, será possível identificar as opções para a implantação da prática do reuso de água e/ou do aproveitamento de água pluvial;
- **Etapa 3: Ponto de mínimo consumo de água (*water pinch*)** - Ponto de mínimo consumo de água utilizada em um determinado processo industrial é função dos contaminantes que resultam em alterações de suas características qualitativas definidas pelas concentrações limites dos contaminantes envolvidos, na entrada e na saída dos processos, o que corresponde à carga de contaminantes transferida durante uma determinada operação, sendo imprescindível utilizá-lo em novos projetos. Como ocorre uma tendência do aumento da concentração de contaminantes durante o uso, é necessário identificar a possibilidade de utilização do efluente de um processo em outro que seja menos restritivo em termos de qualidade de água, pois permite viabilizar o menor consumo de água e de geração de efluentes com o menor custo, assim como a definição de parâmetros críticos de controle e dos respectivos limites de qualidade em cada processo.

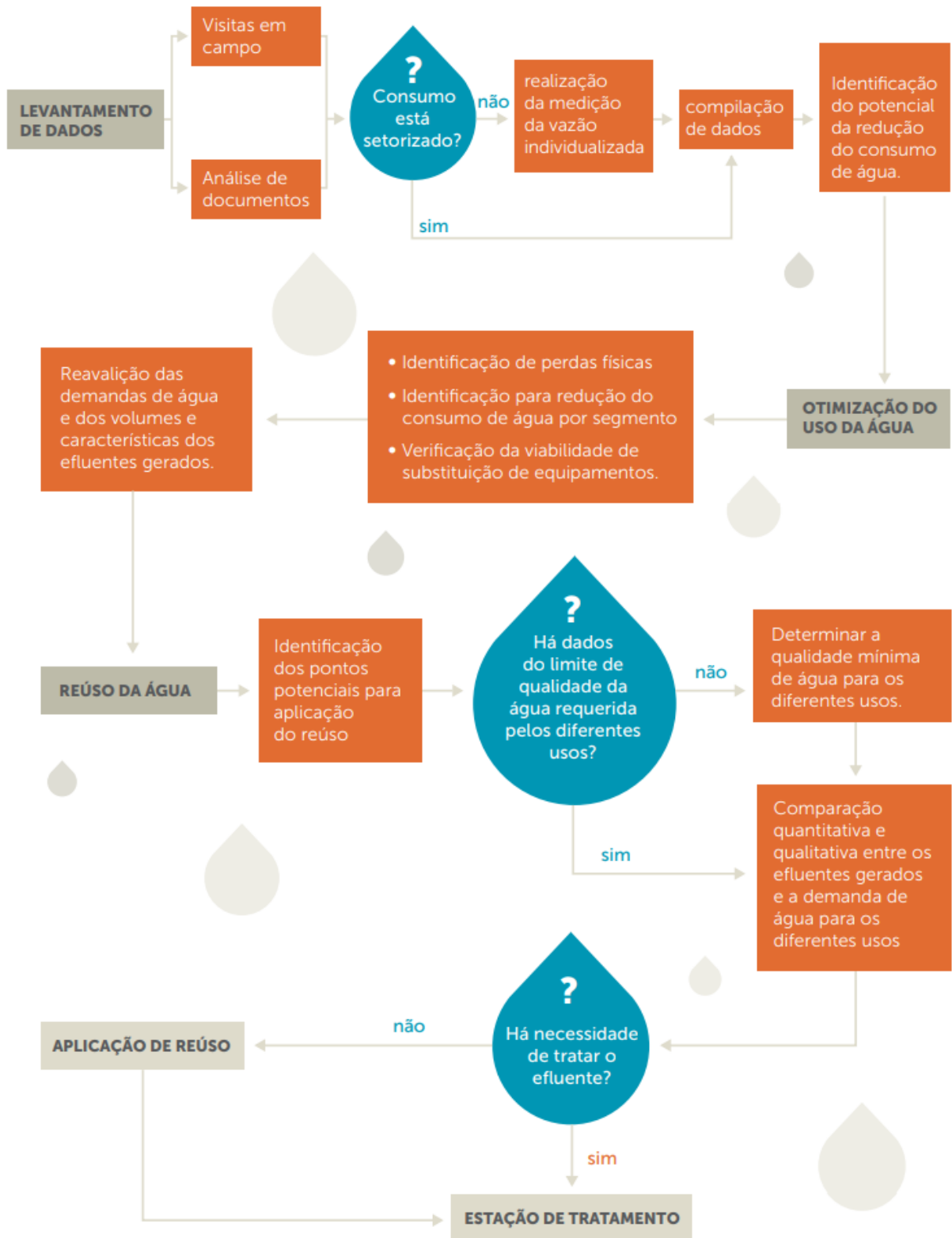


Figura 5 - Diagrama para desenvolvimento do PCRA.
Fonte: FIRJAN (2015).

- **Etapa 4: Aspectos econômicos** - Uma vez identificadas as oportunidades de reúso e de aproveitamento de água pluvial, faz-se necessário elaborar um estudo de

viabilidade econômica. No referido manual, a FIRJAN (2015) recomenda o emprego do método de tempo de retorno do investimento, também conhecido por *payback*. Porém, ressalta-se que outros métodos de análise de investimentos podem e devem ser utilizados, visando selecionar, de fato, a alternativa de maior atratividade, como “Taxa Interna de Retorno” e “Valor Presente Líquido”.

Segundo FIESP/CIESP (2004), a maior dificuldade para implantação de um PCRA está na necessidade do desenvolvimento de novos procedimentos relacionados ao uso da água para a execução das atividades industriais e da oportunidade para a criação de novos negócios. Estes fatos aliados à falta de conhecimento sobre os principais elementos que têm influência sobre os programas de gestão da água, representam as maiores dificuldades para a adoção das práticas de conservação e reuso da água. As principais dificuldades relacionadas ao desenvolvimento de programas de conservação e reuso de água nas atividades industriais podem ser divididas em três categorias: dificuldades técnicas, operacionais e econômicas, resumidas no Quadro 1.

Mierzwa (2002) desenvolveu um estudo de uso racional de água na empresa KODAK Brasileira, situada em São José dos Campos – SP, no qual aplicou um programa de gerenciamento de águas e de efluentes que envolveu a integração de disciplinas técnicas e administrativas, amparadas por normas de controle ambiental e no desenvolvimento sustentável. Nesse estudo de caso, as estratégias trouxeram resultados expressivos, embora a prática do reuso dos efluentes tenha apresentado restrições técnicas, operacionais e econômicas. Inicialmente foi feita uma avaliação global de todos os processos industriais envolvidos e após isso foi selecionado, dentre os processos que foram apresentados, aquele que se encontrava em condição mais crítica em relação ao consumo de água e à geração de efluentes. Posteriormente foi feita a avaliação do potencial de reuso dos efluentes tratados do processo industrial, considerando as características físicas químicas (analisadas pelas concentrações dos parâmetros estipulados) dos requisitos de qualidade de água para as aplicações potenciais, e depois foi feita a avaliação do potencial de reuso global, ou seja, de todo o efluente tratado, que considerou a opção pelo reuso direto e o emprego de técnicas complementares de tratamento de efluentes, para posterior reuso do efluente tratado.

Estas avaliações demonstraram a viabilidade da aplicação dos conceitos de uso racional e reuso, assim como a identificação das limitações relativas à prática do reuso de efluentes tratados e definidos na metodologia para avaliação do potencial de aplicação da prática do reuso na indústria. Assim, considerando-se somente a otimização do processo de

lavagem de reatores e tanques da área de fotoquímicos e a aplicação do reuso em cascata, foi possível estimar a redução da captação de água subterrânea, que era extraída de dois poços artesianos, em 14,53% do volume captado e como consequência foi estimado uma redução do volume do efluente a ser tratado em aproximadamente 23% (MIERZWA, 2002).

Quadro 1 - Adaptado das principais dificuldades associadas aos Programas de Conservação e Reuso de Água (PCRA).

Fonte: FIESP/CIESP (2004).

Dificuldades	Técnicas	De Conhecimento	Falta de subsídios necessários para avaliação dos potenciais de atuação, como falta de domínio do uso presente da água e efluentes gerados (demanda e oferta): quantidade e qualidade; Falta de equipe capacitada para manutenção do Programa, entre outros.
		De Autonomia	Falta de autonomia das filiais perante suas matrizes, impossibilitando alterações no processo produtivo, entre outros.
	Operacionais	No Processo de Produção	Sistema produtivo inadequado ao Programa de Conservação; Resistência em mudanças de procedimentos operacionais; Falta de conscientização de funcionários em relação ao desperdício
	Econômicas	Na Aquisição de Equipamentos	Necessidade de recursos para substituição de equipamentos obsoletos.
		Na Gestão do Programa	Necessidade de recursos para viabilizar a avaliação e implantação do Programa de Conservação e Reuso; Necessidade de capacitação de pessoal para Gestão do Programa.

Nogueira (2020), desenvolveu um PCA, adaptado do modelo FIESP (2004), que foi aplicado em um processo de cromação de anéis de pistão automotivo. O programa foi dividido em 4 etapas: Análise conceitual do processo produtivo; Levantamento do cenário atual de demanda de água e de geração de efluentes; Mapeamento de oportunidades para conservação de água e elaboração de propostas econômica e tecnicamente viáveis para a redução da água demandada e efluentes gerados; e, Criação de ferramentas de monitoramento e de gestão das ações de conservação e reuso da água. Foi estimada uma redução de 51% na demanda de água e de 13% na geração de efluente decorrente da implantação de um sensor de

presença de carga de cromo no tanque de enxágue da linha de desmontagem, o que possibilitou reutilizar o efluente gerado na operação de evaporação durante o processo de regeneração dos banhos de cromo.

Navarro-Ramírez et. al (2020) apresentou uma revisão e classificação dos indicadores que avaliaram a sustentabilidade hídrica aplicável para diferentes setores da indústria, no México, bem como permitiu otimizar e identificar a necessidade em se ter um esquema de gestão da água que incluiu aspectos ambientais, econômicos e sociais como os principais elementos de sustentabilidade no uso da água numa indústria. Este estudo foi baseado em indicadores, normas, padrões, modelos, metodologias e métodos de sustentabilidade hídrica em indústrias de todo o mundo, no período de 1996 a 2019, excluído aqueles relacionados à agricultura e questões hidrológicas. Primeiramente foram verificados os critérios “indicadores de água industrial” ou “modelo de gestão de água na indústria” ou “metodologia de uso de água na indústria” ou “método de uso de água em indústria” ou “gestão da água na indústria” ou “uso sustentável de indicadores de água”. Em seguida foi feita uma classificação por metodologia, método, modelo, norma ou padrão. Depois disso, a seleção consistiu em quantos indicadores estavam envolvidos e quantos poderiam ser aplicados à indústria mexicana. As diretrizes de cada modelo foram avaliadas considerando o uso de indicadores relacionados a mais de um dos três eixos da sustentabilidade: aspectos ambientais, econômicos ou sociais. Os modelos estudados foram:

- Classificação - este critério se referia ao grau de desenvolvimento da ferramenta de avaliação, seja um modelo completo, uma metodologia ou apenas um indicador, no caso de indicadores, apenas aqueles que incluem questões hídricas, aplicáveis à indústria no México, foram consideradas;
- Aplicação - refere-se ao modelo que foi aplicado a toda empresa com uma análise holística ou apenas focada no produto;
- Escopo - refere-se ao nível de implementação, se for um padrão, uma certificação ou apenas incluir diretrizes que seriam implementadas; e,
- Processo - refere-se ao método, que inclui aspectos específicos dos processos industriais, ou seja, manufatura ou manutenção.

O estudo mostrou que embora existissem muitas abordagens ou esquemas para a gestão sustentável da água para aplicação geral em questões ambientais, ainda há potencial para melhoria mediante a introdução de novos modelos para avaliar o uso da água na indústria em cada dimensão da sustentabilidade. Por causa da indústria, os processos estão mudando e

se tornando mais complexos, então os esquemas propostos de gestão de recursos hídricos sustentáveis devem garantir um equilíbrio entre indicadores específico para cada processo, simplicidade em suas aplicações e métricas.

Esses indicadores devem estar atrelados aos custos diretos produtivos e dependem do porte e tipo de indústria em busca de abordagens novas e diferentes para o mesmo tipo de problema. A partir da revisão da literatura, descobriu-se que 23 indicadores foram aplicáveis à gestão sustentável da água na indústria mexicana e destes 13 eram relacionadas a questões ambientais, 5 eram vinculadas a variáveis econômicas e 5 eram aspectos sociais. A partir, disso, dos 22 sistemas de gestão sustentável de água implantados, apenas 12 consideraram os três eixos de sustentabilidade da água na indústria, dos quais, apenas 4 tinham 100% de informações replicáveis. Além disso, um dos principais objetivos era que esses sistemas de gestão deveriam estar de acordo com a definição da Lei Mexicana de Equilíbrio Ecológico e Proteção Ambiental em relação ao desenvolvimento sustentável.

Bavar et. al (2018) apresentou um modelo de reuso de água baseado na análise da pressão de água e na otimização matemática aplicado numa unidade industrial de processamento de milho no Irã para atingir o consumo mínimo de água e de geração de efluentes. O primeiro passo foi reunir as informações básicas de consumo de água e de geração de efluentes da planta industrial para elaboração do balanço hídrico. Conseqüentemente, os fluxos de água foram analisados e, então, os pontos de utilização da planta industrial foram conhecidos e suas vazões e concentrações limitantes foram definidas para cada processo produtivo. Na próxima etapa foi avaliado reduzir o consumo de água. No caso da aplicação da análise de pressão de água, demanda mínima de água e de efluente gerado foram determinados e na etapa final foram projetadas as quantidades mínimas necessárias de água para atingir as metas definidas.

Na aplicação da otimização matemática, as quantidades mínimas de água e de efluentes foram determinadas simultaneamente. O total de sólidos dissolvidos (SDT) e a demanda química de oxigênio (DQO) foram escolhidos como parâmetros limitantes. O consumo de água na indústria estudada diminuiu de 1.800 m³/dia para 1.235 m³/dia e, se considerar o SDT e a DQO, a redução alcançaria 1.152 m³/dia. As abordagens de contaminante único na maioria dos casos são inúteis devido às limitações do processo na reutilização da água. Portanto, a otimização matemática com abordagem de multicontaminantes foi conduzida para projetar uma rede de distribuição de água. Considerando simultaneamente o SDT e a DQO, a otimização resultou em uma redução de 30% no consumo de água e a demanda foi reduzida para 1.260 m³/dia. O estudo concluiu que

o reuso de água pode ser uma solução eficaz para reduzir o consumo de água e a geração de águas residuais nas indústrias de alimentos.

Skouteris et. al (2018) relata que a fabricação de tijolos no Reino Unido é uma indústria hidroatensiva e que requer uma efetiva gestão da água para reduzir a dependência do consumo de água doce. Este estudo desenvolveu uma ferramenta analítica baseada em princípios de pegada hídrica¹ e técnicas de análise de mínimo consumo de água, que podem ser usados no gerenciamento e na otimização do consumo de água na indústria.

Ao realizar as auditorias hídricas pela pegada hídrica¹, que soma as pegadas hídricas azul², verde³ e cinza⁴ foi quantificado que a pegada hídrica total (*water footprint*) do tijolo é 2,02 l/un, dos quais a água azul corresponde por 84,8% e água verde por 15,2%. A água cinza foi calculada em 1,3 l/un. A fim de reduzir a pegada hídrica de um tijolo, técnicas de consumo mínimo de água foram aplicadas na sua fabricação e foram explorados dois esquemas de recuperação de águas residuárias, ou seja, reuso direto⁵ e reuso indireto⁶. No reuso direto, foi elaborado um diagrama do consumo mínimo de água que pudesse ser utilizado na recuperação de material e no reuso indireto a água foi parcialmente tratada para posterior uso. Assim, um algoritmo de prognóstico para o esquema de recuperação de água projetou no reuso direto uma redução de 15,6% do consumo de água e para o reuso indireto uma redução de 56,4% do consumo de água.

3.5 Indicadores de Performance Hídrica

Um indicador corresponde a uma relação matemática de dependência do numerador para com o denominador. Logo, a variável independente deve estar no denominador, não sendo lógico que esta seja um valor fixo ou de baixa variação, ou que a variável dependente

¹ Pegada hídrica: refere-se ao volume de água gasto na produção de bens e serviços, que pode ser classificada em pegada hídrica azul, pegada hídrica verde e pegada hídrica cinza.

² Pegada hídrica azul: refere-se ao volume de água (superficial e/ou subterrânea) agregada ao produto ou que são devolvidas a bacia hidrográfica e/ou lançadas ao mar e/ou são evaporadas.

³ Pegada hídrica verde: refere-se ao volume de água de chuva incorporada ao produto, desde que não foi evaporada e/ou escoada como drenagem pluvial.

⁴ Pegada hídrica cinza: refere-se ao volume de água necessária para diluir a carga de poluentes gerada durante o processo produtivo.

⁵ Reuso direto: refere-se aos volumes de água reutilizados ou reaproveitados em processos sem tratamento prévio.

⁶ Reuso indireto: refere-se aos volumes de água reutilizados ou reaproveitados em processos após serem submetidos a algum tipo de tratamento.

seja pouco sensível à variável independente. Também, um valor típico de um indicador é de pouca utilidade, sobretudo em se tratando de indicadores industriais, tendo em vista que uma planta industrial, via de regra, opera com diferentes fatores de capacidade, ou seja, um valor que corresponda à capacidade nominal de produção oferece pouca informação já que a planta industrial não opera todo o tempo na sua capacidade nominal. Porém, um indicador de performance hídrica é uma boa ferramenta de auxílio à gestão do uso de água na indústria, se

bem concebido. Também, este parâmetro, pode ser utilizado para indicar a potencialidade de conservação de água em equipamentos, máquinas, setores, áreas, prédios, processos e plantas industriais, desde que guardem semelhança operacional, tecnologia, produtiva, etc. (GALIZONI, 2015).

Segundo Lisboa (2019, apud Gomes, 2013), os indicadores de performance hídrica são excelentes instrumentos de gestão, permitindo a tomada de decisão pelo gestor hídrico mediante o acompanhamento de sua evolução ou a sua comparação com valores de referência. Este autor apresenta classes de indicadores como “uso específico de água” e “eficiência hídrica” que refletem condições passadas e presentes da planta industrial, enquanto que a “outorga específica de água” e a “eficiência alocativa” estão associados à riscos futuros de disponibilidade.

A gestão hídrica industrial tem como objetivo garantir a operação da atividade produtiva e a segurança operacional, patrimonial e pessoal com a menor captação de água e restituição de efluente possível. Assim, a gestão deve estar focada na minimização dos desperdícios, denominadas de perdas involuntárias ou indesejáveis. Portanto, para compreender os indicadores propostos por GOMES (2013), se faz necessário alguns conceitos e o entendimento do balanço hídrico presentes na indústria, como apresentado abaixo:

- **Perdas voluntárias:** são aquelas que devem obrigatoriamente ocorrer para que a operação unitária, por conseguinte, o processo industrial se desenvolva, como é o caso da água evaporada e da água purgada em torres de resfriamento e a purgas de condensado nas linhas de vapor vivo, e correspondem à quantidade mínima necessária que pode ser obtida por cálculos ou por medições, levando em consideração aspectos operacionais, climáticos e/ou tecnológicos. Assim, dado que se tem uma tecnologia hidricamente mais eficiente, a perda voluntária correspondente passa a ser um *benchmarking*, ou seja, uma meta.
- **Perdas involuntárias:** são as perdas indesejadas que correspondem ao desperdício, geralmente por razões tecnológicas, atitudinais ou procedimentais. Estas perdas correspondem a vazamentos ou à parcela que excede

as perdas voluntárias. Como exemplo, tem-se a evaporação, respingo e arraste acima do definido em projeto de torres de resfriamento, bem como em purgadores que drenam excessivamente, em razão de problemas mecânicos ou devido a erro de especificação.

Ainda, segundo Lisboa (2019), a gestão hídrica deve estar baseada no balanço hídrico da planta, de um processo, de uma área industrial ou de uma máquina ou equipamento industrial. No caso de uma planta industrial, conforme Figura 6, o volume de água aduzido corresponde à vazão captada, ou seja, o volume utilizado (**VU**) ou volume aduzido (**VA**) para suprir a parcela que é agregada ao produto, ou seja, a água como matéria-prima (**VMP**), às perdas voluntárias (**VPV**), às perdas involuntárias (**VPI**) e ao volume de efluente restituído ao corpo hídrico receptor (**VR**). Assim, pela equação 1, tem-se que:

$$VU = VMP + VPV + VPI + VR \quad (1)$$

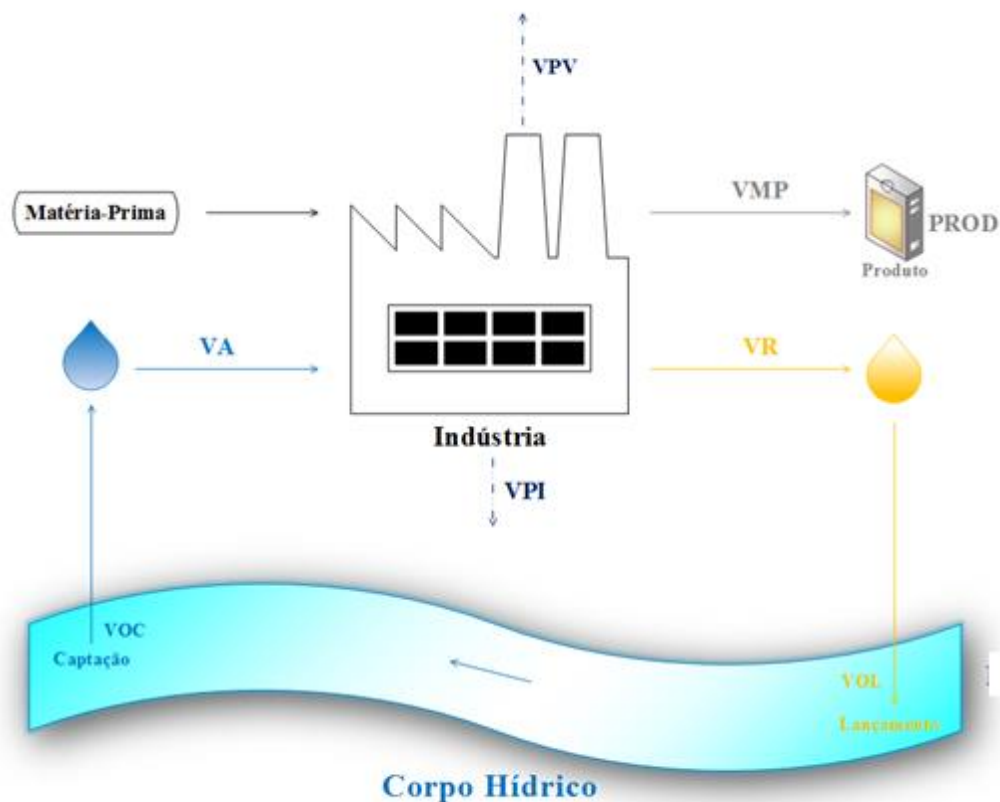


Figura 6 - Fluxos hídricos.
Fonte: O Autor (2022).

O volume de água consumido (**VC**) corresponde à parcela do volume utilizado (**VU**) que não é restituída ao corpo receptor (**VR**), ou seja, equivale a soma das parcelas perdidas e adicionadas ao produto, conforme equações 2 e 3:

$$VC = VU - VR \quad (2)$$

e

$$VC = VMP + VPV + VPI \quad (3)$$

Por se tratar de um bem imprescindível à produção, as empresas procuram manter uma folga entre o volume outorgado de captação (**VOC**) e o volume utilizado (**VU**). Lisboa (2019) define esta folga como reserva de outorga de captação (**VRC**), conforme representado pela equação 4. Também, não é raro já se prever na outorga uma reserva para futuras expansões de produção.

$$VRC = VOC - VU \quad (4)$$

Do ponto de vista do gestor de recursos hídricos o volume outorgado deveria corresponder exatamente ao volume utilizado quando a planta industrial opera na sua capacidade nominal. Porém, do ponto de vista do gestor de água, isto representa um risco à operação à plena carga, pois trata-se de um ponto operativo limite e há variáveis envolvidas de difícil controle ou mesmo não gerenciáveis. Considerando-se as parcelas que compõem as perdas tem-se a equação 5 que corresponde ao cálculo da reserva de captação.

$$VRC = VOC - VU \quad (5)$$

A mesma lógica se aplica ao lançamento de efluentes no corpo receptor. A reserva de outorga de lançamento (**VRL**) corresponde à diferença entre o volume outorgado de lançamento (**VOL**) e o volume efetivamente restituído no período considerado, como mostrado na equação 6. Neste caso, dificilmente se busca uma reserva na outorga de lançamento pelo risco de aumento da carga de contaminantes no efluente, pois a carga limite é definido pela Resolução CONAMA/MMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). Porém, mesmo com a concentração dentro dos limites legais, pode ocorrer uma geração maior de efluente, visto que em determinadas condições, uma planta pode operar por algum tempo acima da sua capacidade nominal, razão pela qual é comum majorar a vazão de efluente a ser

restituída. Também, não é raro já se prever na outorga uma reserva para futuras expansões de produção.

$$VRL = VOL - VR \quad (6)$$

Dentre os indicadores mencionados anteriormente, Lisboa (2019 apud Gomes, 2013), destacam-se os indicadores de performance hídrica industrial, conforme apresentado a seguir.

a) Eficiência hídrica (ε_h):

A eficiência hídrica (ε_h) de uma planta industrial corresponde à razão entre o volume de água necessário para atender a produção e o volume efetivamente utilizado (**VU**), conforme equação 7.

$$\varepsilon_h = \frac{VMP + VPV}{VU} \quad (7)$$

b) Ineficiência Hídrica (i_h):

Analogamente foi definida a ineficiência hídrica (i_h), que correspondente à relação entre a soma da perda involuntária (**VPI**) e do volume restituído (**VR**) com o volume utilizado (**VU**), conforme equação 8.

$$i_h = \frac{VPI + VR}{VU} \quad (8)$$

c) Uso Específico da Água (UEA):

O uso específico da água (**UEA**) relaciona o volume utilizado de água (**VU**) pela produção da planta industrial (**PROD**), conforme equação 9.

$$UEA = \frac{VU}{PROD} \quad (9)$$

d) Consumo Específico da Água (CEA):

O consumo específico da água (**CEA**) relaciona o volume consumido de água (**VC**) pela produção da planta industrial (**PROD**), conforme equação 10.

$$CEA = \frac{VC}{PROD} \quad (10)$$

e) Lançamento Específico de Efluente (LEE):

O lançamento específico de efluentes (**LEE**) relaciona o volume restituído (**VR**) com a produção da planta industrial (**PROD**), conforme equação 11.

$$LEE = \frac{VR}{PROD} \quad (11)$$

A demanda hídrica de uma indústria é composta por uma parcela fixa e outra variável. Uma forma de mensurar a parcela fixa é medi-la quando a unidade industrial está fora de operação. A parcela variável é aquela que depende do volume de produção ou de matéria-prima principal consumida. A Figura 7 exemplifica estas duas parcelas em função da produção. Assim, ao se relacionar estas variáveis, ou seja, demanda hídrica ou produção de efluente, com a produção, gera-se novas curvas decrescentes, tendo em vista que a parte fixa tem um impacto maior quando a atividade industrial é menor e pouco significativa quando a mesma atinge sua capacidade nominal.

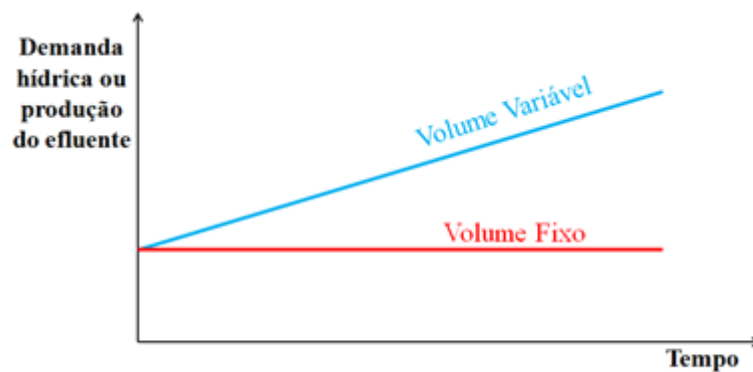


Figura 7 - Demanda hídrica ou produção do efluente x tempo.
Fonte: Adaptado de GALIZONI (2015).

Com base neste conceito pode-se relacionar os indicadores de interesse com uma variável de referência, que pode ser a produção industrial ou o consumo de matéria-prima, a depender do caso. A análise temporal dos indicadores uso específico de água, consumo específico de água, lançamento específico de efluente para fins de definição de ações de conservação de água em uma planta industrial tem limitações, pois não leva em conta o nível de atividade industrial ocorrida no período de análise do histórico. Assim, estes indicadores

devem estar relacionados com a produção ou o consumo de matéria-prima, ou seja, o valor do indicador apurado em um determinado período temporal deve estar relacionado com a produção do mesmo período, conforme exemplificado na Figura 8.

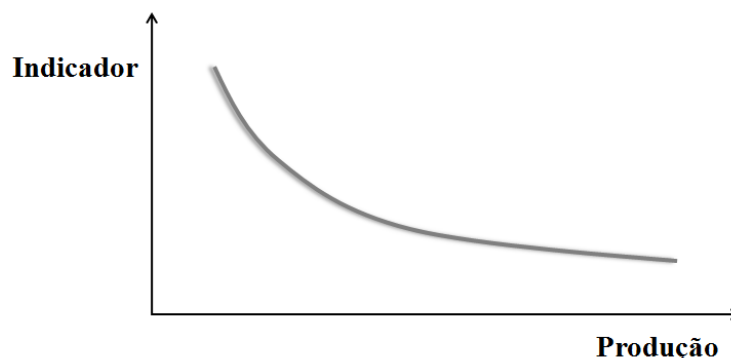


Figura 8 - Indicador x variável de referência.
Fonte: Adaptado de GALIZONI (2015).

À medida que o histórico de dados se estende, podem ocorrer situações tendenciais decorrentes de intervenções no sistema hídrico de interesse, tais como expansão, manutenção, *retrofit*, etc. Salienta-se que o surgimento de uns poucos pontos fora da curva não deve desencadear uma ação pelo gestor, o que deve ser feito somente quando se identificar haver uma tendência.

Conforme ilustrado na Figura 9, a curva apresentada na Figura 8 se desloca para cima (situação 1) ou para baixo (situação 2). A ocorrência da situação 1 indica uma piora na eficiência do sistema hídrico, pois para uma mesma produção, a demanda hídrica aumenta, o que irá requer uma tomada de decisão pelo gestor hídrico. A primeira ação do gestor deve ser identificar a causa raiz, primeiro para identificar se a informação é procedente, ou seja, que a demanda hídrica, ou a quantidade de efluente produzido, aumentou e em uma segunda etapa identificar o fator causador. Não é raro ocorrer um problema com a instrumentação que gera uma informação incorreta, ou seja, o valor do indicador efetivamente não se elevou. Por outro lado, não é raro haver problemas no sistema hídrico que acarretam elevação do valor do indicador, como vazamentos, derivações, falhas operacionais, etc.

A situação 2 representa uma situação oposta. Caso isto se confirme, o gestor passa a ter um novo *benchmarking*. É importante que o gestor identifique as razões que provocaram esta nova tendência, visando a multiplicação das ações bem-sucedidas.

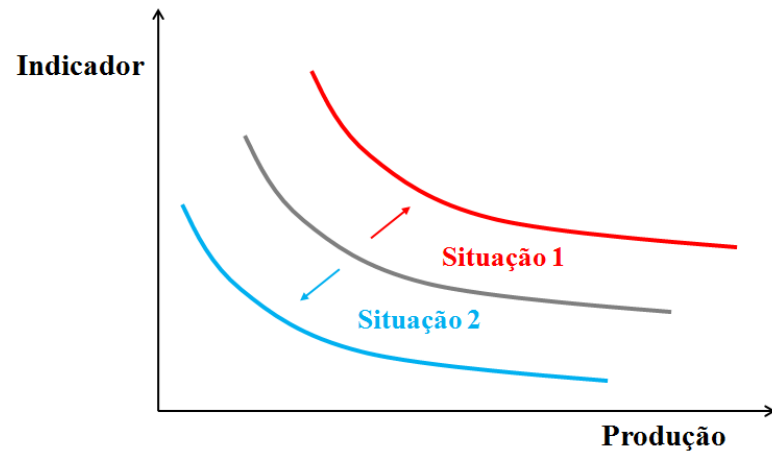


Figura 9 - Curva de referência e possíveis situações de mudança.
Fonte: Adaptado de GALIZONI (2015).

4 METODOLOGIA

Esta dissertação pode ser dividida em 4 módulos, conforme apresentado na Figura 10, que mostra a estrutura da dissertação e como a mesma foi desenvolvida.

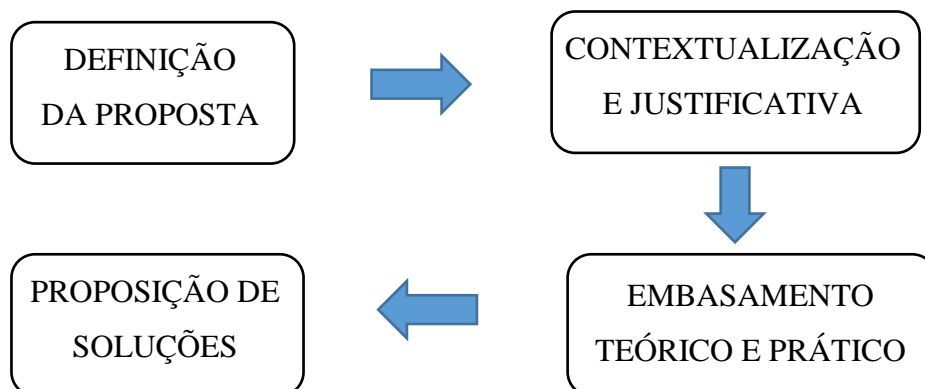


Figura 10 - Fluxograma da dissertação.

Fonte: Elaboração própria.

No âmbito de um mestrado profissional, a Dissertação busca apresentar propostas para os problemas vivenciados na empresa, pois se almeja que essa dissertação contribua com a alta administração da INB no melhor uso da água nos processos da sua unidade fabril de óxido de urânio, a Fábrica de Combustíveis Nucleares. A necessidade da proposta dessa dissertação decorre do fato que, embora o suprimento de água não represente um risco à operação da FCN, a mesma está comprometida com a sustentabilidade da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, na qual a FCN está instalada e que não há um sistema de gestão adequado necessário para o alinhamento das suas práticas com seus compromissos ambientais.

Definidos os objetivos da dissertação buscou-se na literatura jurídica, administrativa, técnica e publicações científicas sobre gestão de recursos hídricos e sobre a gestão de água no setor industrial. Foram encontradas publicações teóricas e práticas com modelos de gestão e ferramentas de auxílio ao gestor industrial de água. Este material foi utilizado na formulação de propostas para a FCN no que tange a estruturação de um ente gestor de água, a Comissão Interna de Conservação de Água, e na proposição de ferramentas de auxílio à gestão, como um Programa de Conservação de Água que se inicia com uma etapa de levantamento de dados e informações da situação atual, na elaboração de um plano de ações que envolve a instrumentalização adequada dos sistemas hídricos para fins de gestão e a redução de perdas hídricas desnecessárias. Para a avaliação da eficácia deste plano de ações, ou seja, das ações

de conservação de água que serão adotadas, foi proposto o uso de indicadores de performance hídrica e gráficos correlacionais e uma ferramenta denominada de SIGAED para registro e apoio à gestão de água na planta da FCN. Por fim, concluiu-se que os objetivos estabelecidos nessa dissertação foram alcançados e que a FCN tem grande possibilidade de contribuir com a bacia hidrográfica no promover o uso racional dos recursos hídricos utilizados, podendo servir de modelo para as demais indústrias lá instaladas. Como todo trabalho desta natureza não se encerra com o término da dissertação, foram propostos trabalhos que podem ser desenvolvidos no âmbito da FCN.

5 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA PARA A FCN

Como já mencionado, a Fábrica de Combustíveis Nucleares não dispõe de um Programa de Conservação de Água (PCA) porque dificilmente terá sua outorga restringida, já que não é considerada uma atividade hidroatensiva e por ser considerada uma atividade de estratégico interesse nacional. Porém, face aos compromissos ambientais assumidos entende-se que a mesma deva implementar um Programa de Conservação de Água visando reduzir a captação de água e o lançamento de efluentes.

Como já mencionado, o sucesso de um PCA deve fazer parte de uma política estratégica da empresa, o que envolve criar uma estrutura de gestão hídrica.

5.1 O Gestor de Água da FCN

A gestão da água em uma planta industrial deve ser realizada por um órgão multidisciplinar, constituído por representantes da administração, engenharia, produção e utilidades, denominado Comissão Interna de Conservação de Água-CICA, que tem a atribuição de coordenação do planejamento, da implantação e da avaliação do PCA, estabelecendo os ajustes de rumo, caso seja necessário. Ou seja, a CICA atua segundo um ciclo PDCA (Figura 11).

Embora não faça parte de um PCA, a CICA deve se preocupar com o suprimento hídrico, buscando alternativas à captação de água superficial. Um caso típico desta ação é o estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da água pluvial que cai na planta industrial.

O sucesso de um PCA depende do comprometimento e da capacidade técnica da equipe da CICA e do envolvimento dos demais colaboradores da empresa. As decisões devem estar baseadas na qualidade das informações utilizadas, que por sua vez dependem da qualidade dos dados coletados e na capacidade analítica do tomador de decisão.

No setor industrial, os sistemas hídricos são auxiliares à produção e a sua ineficiência pode comprometer a produção ou elevar os custos de produção. Não é rara a necessidade de intervenção imediata, mesmo que paliativa, sob risco de comprometer a produção. Porém, na maioria das vezes, a solução definitiva é resultado de estudos e de um planejamento. Independente do contexto, a capacidade do gestor hídrico em tomar a decisão de forma assertiva sempre é colocada à prova. Nem sempre a decisão tomada é a melhor solução técnica e econômica, mas é aquela que resolve um problema emergencial que tende a

comprometer a operação do sistema hídrico ou a segurança patrimonial ou dos colaboradores ou, ainda, aquele problema que pode colocar em risco o meio ambiente. Uma vez tomada a decisão, a sua assertividade somente poderá ser avaliada após aplicados os mecanismos de controle do processo e envolve avaliação sistêmica. Este controle envolve o monitoramento das variáveis de interesse e a análise dos valores medidos. Para tanto, utilizam-se indicadores de performance hídrica, análise estatística, gráficos correlacionais, etc. Estes instrumentos possibilitam identificar o descolamento tendencial do que se está medindo em relação ao valor esperado.

Em uma situação de normalidade operacional dos sistemas hídricos, o ciclo PDCA se mostra adequado, ao possibilitar ao gestor hídrico tempo para planejar, executar, verificar e corrigir, tanto que, como mostrado no Capítulo 3, da Revisão Bibliográfica, TORRES (2018) obteve resultados satisfatórios com a aplicação deste método.

No contexto desta Dissertação, a gestão aborda um espectro mais amplo do que a tomada de decisão. Ela abarca o conhecimento necessário que o gestor hídrico deve ter para ser assertivo. O conhecimento técnico do sistema hídrico de interesse envolve conhecer a importância do mesmo para a manutenção da produção, entender os componentes do sistema hídrico, como informações técnicas, aplicação, princípio de funcionamento e limites operacionais. Com isto o gestor hídrico, apoiado pela equipe que atua no setor em foco, sabe se o componente foi corretamente especificado, se apresenta necessidade de substituição ou de manutenção, se a intervenção pode ser programada ou não, se o local em que está instalado permite sua substituição sem comprometer a produção, etc. Muitas vezes, a intervenção não é disparada após uma análise de dados, mas pela simples observação. É muito frequente que operadores experientes percebam comportamentos anômalos em componentes pela simples percepção de ruídos, vazamentos, vazões excessivas, vibração, etc. Assim, a gestão assertiva requer que todos os colaboradores estejam comprometidos em minimizar a demanda hídrica e tenham capacidade de observação. A gestão assertiva está, também, alicerçada no conhecimento de aspectos legais correlatos à captação de água, ao lançamento de efluentes e ao direito de uso dos recursos hídricos, bem como aos aspectos ambientais, trabalhistas, econômicos, financeiros e de governança. Ainda o gestor hídrico deve acatar todas as normas internas da empresa e estar atento à aspectos atitudinais da equipe envolvida na operação e na manutenção dos sistemas hídricos. Para minimizar os riscos atitudinais, a CICA deve promover cursos de capacitação técnica e campanhas de conscientização afetos os sistemas hídricos e à conservação de água.

O conhecimento multidisciplinar abarca conhecimento técnico, normativo e comportamental e dos processos industriais. O planejamento é a etapa na qual a CICA, com base no conhecimento multidisciplinar e na análise de dados e informações previamente coletados, estabelece um cronograma de intervenções alinhado com o planejamento financeiro da empresa.

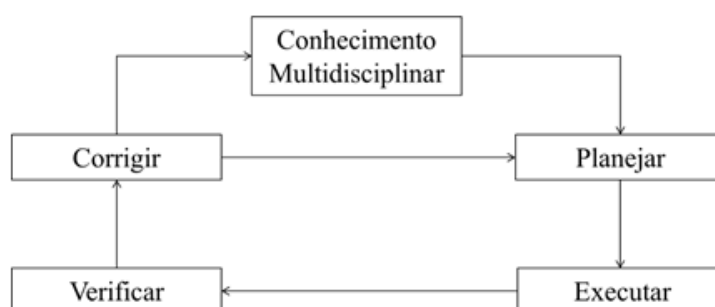


Figura 11 - Gerenciamento de Programa de Gestão de Água na Indústria.
Fonte: O Autor (2022).

A execução consiste na implementação das ações estabelecidas no planejamento, obedecendo o cronograma físico e financeiro da empresa.

A verificação consiste na avaliação da eficácia das ações implementadas. A verificação indica os riscos de não se cumprir as metas estabelecidas no prazo estipulado, podendo ser necessário que rumos sejam corrigidos.

Pode-se dizer que a correção é um divisor de águas na gestão, pois ela separa o antes e o depois, garantindo um aumento da eficiência hídrica do sistema hídrico industrial, porém, esta etapa de correção é totalmente dependente do conhecimento multidisciplinar, da capacidade de tomada de decisão e do planejamento realista. Para tanto, deve-se considerar que há situações distintas envolvendo sistemas hídricos industriais, ressaltando que o objetivo da gestão é a garantia de atender as necessidades hídricas da produção, ou seja, garantir o suprimento mínimo de água em todos os pontos de uso, aplicando conhecimento e a melhor tecnologia para garantir a máxima eficiência do uso de água pelos usuários, bem como deve-se buscar a mínima restituição de efluente para o corpo hídrico receptor.

Dentre as situações distintas, tem-se pelo menos dois objetivos de uma intervenção: Expansão dos sistemas hídricos e a conservação da água. A expansão de sistemas hídricos não é tema dessa Dissertação, estando a mesma concentrada na conservação da água na planta industrial com vistas à redução da captação de água bruta e no lançamento de água no corpo receptor e a manutenção da água na planta industrial pelo maior tempo possível. Isto pode ser

alcançado pela melhoria dos serviços de manutenção e pela adequação dos sistemas hídricos, entendendo-se, com isto, o fechamento ou interligação de circuitos hídricos.

A fim de avaliar o status quo e a eficácia das ações de conservação implementadas, recomenda-se o emprego de alguns indicadores de performance hídrica dentre aqueles apresentados na revisão bibliográfica. Dentre estes indicadores destacam-se aqueles que relacionados com variáveis de produção, como uso específico de água e lançamento específico de efluente, ou consumo específico de água. Estes indicadores quando relacionados com a produção física, ou o consumo de matéria-prima, mediante elaboração de gráficos, como apresentado na Figura 8, a depender do tamanho da série histórico, possibilita que o gestor avalie a assertividade das decisões tomada e a necessidade de ajustes.

5.2 O Programa de Conservação de Água na FCN

O desenvolvimento do PCA para a FCN foi feito com base na metodologia descrita em FIRJAN (2015).

O PCA proposto inicia-se com o pré-diagnóstico, seguido do diagnóstico. Com base no diagnóstico são definidos os pontos de monitoramento dos fluxos hídricos. Para o complexo industrial, setores, processos, etc. Deve-se realizar o balanço hídrico para mensuração das perdas brutas e cálculo dos indicadores de performance. Uma vez estando a rede de monitoramento em operação é necessário a adoção de um plano de ações de conservação hídrica, que busca reduzir a demanda hídrica e a geração de efluente. O plano de ações estabelece uma hierarquização de todas as potenciais ações com base na relação benefício/custo. Via de regra deve ser dada prioridade para ações de baixo custo e fácil detecção, como eliminação de vazamentos, usos excessivos de água, etc. Geralmente estes problemas estão associados à necessidade de manutenção de pequena monta ou à falta de cultura conservacionista de colaboradores. Ações que envolvam maiores investimentos devem ser hierarquizados com base em um estudo de viabilidade técnica e econômica, comum em manutenção de grandes equipamentos ou em fechamento de circuitos. O reuso indireto é a última etapa de um PCA. Este tipo de reuso envolve o tratamento de um efluente ou de um mix de efluentes. A sua viabilidade econômica vai depender das vazões a serem tratadas, das tecnologias de tratamento adequadas e das distâncias envolvidas entre os pontos de geração à estação de tratamento e desta aos pontos de utilização.

5.2.1 Pré-Diagnóstico Hídrico

A eficiência da gestão está vinculada a qualidade das decisões tomadas e estas, por sua vez, estão alicerçadas na qualidade dos dados e informações utilizadas. Assim, devem ser coletadas informações técnicas e procedimentais relativas ao projeto e operação dos sistemas hídricos e da produção industrial. Perguntas devem ser respondidas a partir da definição dos objetivos do PCA e do conhecimento técnico de soluções. Portanto, questões relevantes devem ser respondidas, como “para que medir?”, “o que medir?”, “onde medir?”, “como medir?” e “com que medir?”. Como medir envolve a frequência e a duração da medição, a faixa de medição (valores máximos e mínimos) e se a medição vai ser manual ou automática.

A primeira etapa de um processo de implantação e operação de um PCA é o pré-diagnóstico hídrico de uma indústria e tem como objetivo compreender os processos industriais e os fluxos hídricos envolvidos e obter subsídios ao planejamento das atividades a serem desenvolvidas na etapa de diagnóstico.

Esta etapa se desenvolve mediante visitas às áreas para levantamento dos dados e informações, e deve envolver a planta industrial, os processos, os fluxos hídricos e demais setores afetos ao uso de água e geração de efluentes. Inicia-se por percorrer todos os sistemas hídricos, do início ao fim, para compreensão e levantamento de dados técnicos dos seus componentes relevantes sob a ótica de perda hídrica. Com estas informações, deve-se elaborar os fluxogramas dos sistemas hídricos, nos quais devem constar as entradas e saídas de fluxos hídricos, e se iniciar a construção de banco de dados correlatos. Assim, informações básicas como plantas, mapas, registros das demandas hídricas e dos lançamentos de efluentes, outorgas, produção ou consumo de matéria-prima, instrumentação e seus dados de calibração, grandezas medidas e seus valores históricos, etc. Ainda, dados dos processos industriais, os levantamentos dos pontos de captação de água e de lançamento de efluentes, as estações de tratamento de água, as redes de distribuição de água e de coleta de efluentes da planta industrial.

Nesta etapa é importante a conversa com gerentes, supervisores e operadores de sistemas hídricos visando a identificação de potenciais redução demanda hídrica e de geração de efluentes, bem como coletar ideias que podem ser incorporadas no PCA.

Inicialmente foi verificado que não existe nenhum registro sobre as perdas hídricas existentes e que não existem procedimentos de rotina para ações de combate às perdas hídricas.

5.2.2 Descrição da FCN

A FCN está localizada no município de Resende – RJ, na bacia do rio Paraíba do Sul, ocupando uma área de 6.500.000 m², das quais 49.782 m² estão edificadas (conforme Figura 12), distribuídas em setores administrativos e industriais (apresentados na Figura 13).



Figura 12 - Vista aérea da área total da FCN.
Fonte: Google Earth.

Os setores administrativos são compostos por diversas salas, escritórios, restaurante, empresas terceirizadas, canteiros de obras, transporte e áreas de apoio espalhadas no complexo industrial, sendo que algumas instalações prediais possuem tratamento dos esgotos via fossa séptica.

Já os setores industriais são compostos por duas unidades industriais, como apresentado na Figura 13, sendo uma pela Fábrica de Combustível Nuclear - Componentes e Montagens (FCN-CM) e outra pela Fábrica de Combustível Nuclear - Reconversão, Pó e Pastilhas & Enriquecimento Isotópico de Urânio (FCN-RP&E).

O esgoto sanitário proveniente da FCN-CM passa por tratamento biológico em reator anaeróbio antes de ser lançado na represa da UHE Funil e o esgoto da FCN-RP&E passa por filtros biológicos para lançamento no Ribeirão Água Branca.

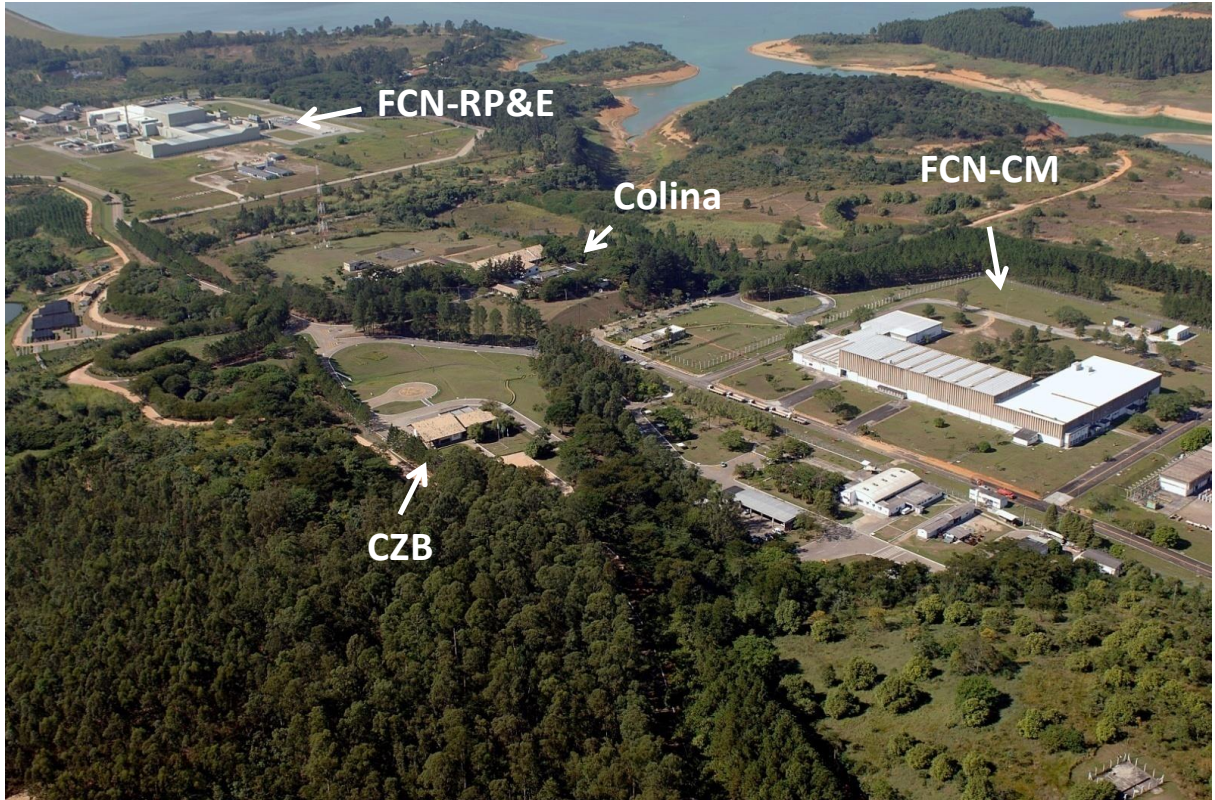


Figura 13 - Vista aérea da FCN.
Fonte: O Autor (2022).

5.2.3 Os Sistemas Hídricos Industriais da FCN

Conforme apresentado na Figura 14, o Ribeirão Água Branca passa ao lado da FCN de onde é captada, aproximadamente, 125 m³/h de água pela Estação de Captação de Água (ECA), que após tratada e potabilizada pela Estação de Tratamento de Água (ETA) é distribuída e utilizada em todo o complexo. Além disso, existe a captação de água subterrânea proveniente dos Poços Artesianos (J-03 e J-04) que é utilizada em casos de emergência e para atender o sistema de combate de incêndio.

O Ribeirão Água Branca é enquadrado como Classe 2, e a captação está processo de outorga de direito de uso de recursos hídricos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), sob o n° E-07/101277/2000, que apresenta os seguintes dados:

- O ponto de captação de água bruta (cujas coordenadas geográficas de Latitude é 22° 30' 13,400" Sul e Longitude 44° 37' 53,900" Oeste) junto ao Ribeirão Água Branca, apresenta volume mensal de outorga de 6.000 m³.
- O ponto de captação da água subterrânea do J-03 (cujas coordenadas geográficas de Latitude é 22° 30' 0,800" Sul e Longitude 44° 39' 31,700" Oeste) é de 1.494 m³.

- O ponto de captação da água subterrânea do J-04 (cujas coordenadas geográficas de Latitude é 22° 30' 0,800" Sul e Longitude 44° 39' 31,700" Oeste) é de 1.800 m³; e,
- O ponto de lançamento (cujas coordenadas geográficas de Latitude é 22° 30' 6,500" Sul e Longitude 44° 38' 8,40" Oeste) do efluente industrial tratado da FCN-RP&E apresenta volume mensal de outorga de 336 m³ e para o esgoto sanitário tratado apresenta volume mensal de outorga de 367,20 m³.



Figura 14 - Localização do sistema de captação e tratamento de água da FCN.

Fonte: Adaptado de GOOGLE.

O Sistema de abastecimento de água da FCN tem capacidade para atender as necessidades de produção de até 240 t/ano de óxido de urânio e pode ser dividido nos seguintes Subsistemas:

- Subsistema de Captação de Águas Superficial e Subterrânea;
- Subsistema de Tratamento de Água; e,
- Subsistema de Distribuição de Água Potável.

A Figura 15 apresenta o fluxograma de água e efluente, contemplando todo o sistema de água da FCN, desde sua captação de água bruta, tratamento e distribuição da água potável aos seus consumidores até a destinação final do efluente industrial tratado e do esgoto sanitário tratado, descritos a seguir.

a) *Subsistema de Captação de Água da FCN*

O subsistema de captação é composto por águas superficial e subterrânea, sendo que o ponto de captação de água superficial, proveniente do Ribeirão da Água Branca, alimenta a Estação Captação de Água (ECA) e tem como objetivo o recalque dessa água à Estação de

Tratamento de Água (ETA). E, o outro ponto de captação, que é realizada por água subterrânea é retirada dos Poços Artesianos (J3 e J4) situado próximo à Portaria P1 da FCN.

Para possibilitar o ponto de captação de água fluvial do Ribeirão Água Branca existe uma pequena barragem onde a elevação do nível da água consegue o afogamento necessário para a tubulação de captação formando um pequeno reservatório, aumentando assim a capacidade de armazenamento desse circuito para a tubulação de captação formando um pequeno reservatório, aumentando assim a capacidade de armazenamento de desse circuito.

O circuito da ECA é composto pelo reservatório formado pelo barramento, tubulação de adução primária, caixa de desarenação com grade grossa, tubulação de adução secundária, poço de bombeamento, comportas de manobra, bombas, tubulação de recalque e finalmente a ETA.

Com a implantação do barramento no Ribeirão Água Branca, o pequeno reservatório de formato relativamente estreito apresenta comprimento em torno de 370 m, área de aproximadamente 2.960 m² e profundidade média de 0,75 m (estimada por estudos de batimetrias), resultando num volume acumulado de 2.200 m³.

Para o funcionamento adequado das bombas dessa captação são necessários um recobrimento mínimo da tubulação de adução e dos equipamentos de bombeamento, considerou-se como volume útil o mesmo trecho do reservatório, porém com uma profundidade média de 0,30 m. Então, o volume útil desse reservatório em questão é de aproximadamente 890 m³. Esse volume útil é suficiente para pouco mais de sete horas de funcionamento desse subsistema de captação, operando na sua vazão nominal.

Originalmente, o volume acumulado era bem maior, mas em razão do depósito de sedimentos o reservatório foi sendo assoreado e a sua profundidade máxima que era da ordem de 3,0 m, atualmente, é de aproximadamente 1,2 m. Para a formação desse reservatório foi construída uma barragem mista, de entroncamento e solo não se utilizando concreto. A inclinação dos taludes de montante e de jusante é de aproximadamente 2:1. Não existe um vertedouro ou mecanismo extravasor e durante as cheias as águas passam por cima desse barramento.

A estrutura é bastante simples, no entanto, é a opção mais correta sob o aspecto de preservação do ambiente, pois o tipo de escoamento que se estabeleceu se aproxima bastante daquele que está presente nas cachoeiras naturais.

A tubulação de adução primária tem a função de conduzir a água bruta do pequeno reservatório no Ribeirão Água Branca até a caixa de desarenação. Ela foi construída com manilhas de concreto com diâmetro de 0,8 m e possui um comprimento aproximado de 10 m.

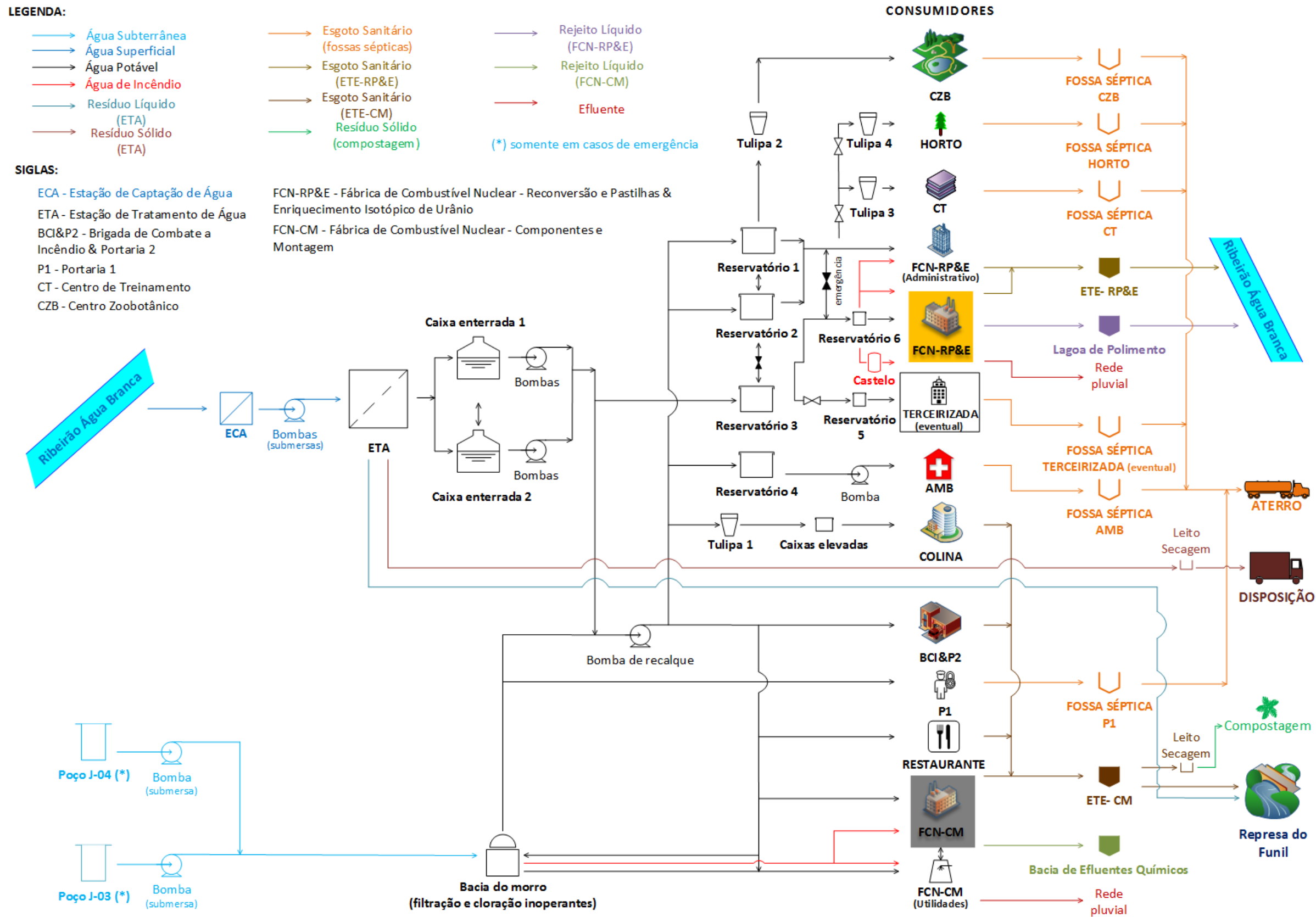


Figura 15 - Fluxograma de Água e Efluente da FCN.

Fonte: O Autor (2022).

A caixa de desarenação foi construída para coletar parte dos sedimentos que são carreados pela água e quando, a quantidade de sedimentos no interior dessa caixa aumenta muito é feita a retirada manualmente, pois não existe uma comporta ou uma tubulação exclusiva para a desarenação. Nessa caixa existe também uma estrutura montada de grade grossa para reter objetos maiores que poderiam danificar as bombas hidráulicas.

A tubulação de adução secundária é construída com manilhas de concreto e tem a função de conduzir a água da caixa de desarenação até o poço de bombeamento. Sendo que, existem quatro comportas do tipo gaveta plana que separam a tubulação de adução secundária dos quatro poços de bombeamento. Essas comportas de manobra trabalham normalmente abertas, mas em caso de necessidade podem ser fechadas para possibilitar a realização de serviços de manutenção nas bombas hidráulicas.

Os poços de bombeamento são compartimentos feitos de concreto que podem ser isolados pelas comportas de manobra. Estão instaladas bombas hidráulicas em apenas três desses quatro poços, sendo um deles deixado como reserva.

Devido a construção da ETA estar em um ponto mais alto, possibilitando a distribuição da água tratada por gravidade, existe a necessidade de bombas hidráulica para vencer essa diferença de nível, cerca de 40 m e para isso foram instaladas três bombas hidráulicas centrífugas do tipo submerso. A capacidade de cada uma dessas bombas é de aproximadamente 62,5 m³/h, porém elas operam aos pares recalcando 125 m³/h, atendendo à demanda da ETA e a terceira bomba restante fica como reserva. A tubulação de recalque que conduz a água bruta bombeada dos poços até a ETA é metálica, enterrada, tem cerca de 1700 m de comprimento e diâmetro de 200 mm. Para a proteção contra transientes hidráulicos, na parte mais baixa, foram instaladas duas válvulas. Nas partes mais altas foram colocadas válvulas ventosas para prevenir/evitar a formação de pressões negativas na tubulação.

Em caso de pane na ECA ou na ETA, a produção de água potável pode ficar comprometida. Neste caso, é possível realizar o abastecimento da rede através dos J-03 e J-04. Esses poços são do tipo tubular profundo, provido de bomba submersa cada, que envia a água captada para reservação de 120 m³ na Bacia do Morro. Esta água flui por gravidade para a rede de distribuição de água potável da FCN-CM. A pressão dessa água é suficiente, pois esta Bacia está situada na cota 515 m, sendo este o local mais elevado em relação a FCN-CM e demais áreas da FCN. No entanto, o uso dessa água está descontinuado e pode ser utilizado apenas em emergência ou na ausência da captação da água proveniente do Ribeirão Água Branca, o que não tem ocorrido. Entretanto, as águas subterrâneas, geralmente, têm salinidade maior que as águas de superfície, o que as tornam pouco adequadas para uso industrial e os J3

e J4 não são exceção. Inclusive, essa salinidade excessiva é prejudicial para uso em determinados processos como, por exemplo, a desmineralização e a reposição de água desmineralizada em Torres de Resfriamento e outros sistemas fechados. Assim, o uso dos J3 e J4 ficam restrito até que a ECA e ETA volte a operar. Quando os J3 e J4 estão em operação é feita adição diária de hipoclorito de cálcio na Bacia do Morro para manter o teor de cloro livre na faixa de 0,2 a 2,0 ppm ao longo da rede.

O consumo anual previsto do J3 é de 2.364 m³ para o tempo de 1 h num período de 10 dias por mês. E o J4 possui com consumo anual previsto do J4 é de 2.508 m³ para o tempo de 1 h num período de 10 dias por mês. Porém, atualmente, as águas do J3 e J4 são utilizadas apenas para situações de emergência ou como, por exemplo, no caso de abastecimento de caminhões de incêndio ou em simulados de emergência de combate a incêndio.

b) Substema de Tratamento de Água da FCN

Este sistema tem por objetivo adequar a qualidade da água captada para seu uso nas instalações industriais. Assim, a ETA, localizada, próximo da Colina (setor administrativo do complexo industrial), junto ao prédio do Ambulatório, na cota 495 m, tem capacidade para tratar até 125 m³/h de água bruta. O tratamento empregado na ETA é o processo convencional de tratamento, ou seja, utiliza floculação com sulfato de alumínio e polieletrólitos, aglutinação, sedimentação em tanque floccodcantador ou clarificador, filtros, cloração e estocagem em reservatório de 900 m³. Neste tipo de tratamento o sulfato de alumínio, entra em contato com a água bruta, introduzida continuamente no floccodcantador ou clarificador para formação dos flocos de hidróxido de alumínio devido a reação com a alcalinidade natural da água. O sulfato de alumínio é um sal de reação ácida e floccula (precipita) quando o pH do meio é maior que 5,5. Então, os flocos de hidróxido de alumínio atraem eletricamente as partículas de argila e matéria orgânica dispersas na água bruta (responsáveis pela sua turbidez) e sedimentam lentamente, acumulando-se no fundo do floccodcantador sob a forma de lama.

A água tratada é retirada continuamente por cima desse tanque, enquanto que a lama é extraída periodicamente pelo fundo do tanque, através de válvulas especiais automáticas. Essa lama segue para tanques horizontais rasos chamados Leitões de Secagem. Esses leitões são semelhantes a filtros de areia que retêm a parte sólida da lama e deixam passar a parte líquida, praticamente água, que é drenada para a rede de águas pluviais. Após a secagem, a lama é retirada periodicamente para descarte como resíduo sólido de baixa toxidez. Esse resíduo contém basicamente óxidos de alumínio, argila e matéria orgânica sedimentados.

A cal empregada no tratamento serve para aumentar a alcalinidade da água bruta, facilitando a floculação do sulfato de alumínio. O polieletrólito é um agente coadjuvante para facilitar a aglutinação dos flocos, aumentando seu tamanho e conseqüentemente a velocidade de sedimentação. A cal também pode ser utilizada para corrigir o pH final da água tratada (após a filtração), quando isso for necessário. Para garantir que a água produzida fique isenta de partículas em suspensão, ela é filtrada continuamente através de filtros de areia auto limpantes, antes de ser enviada ao Reservatório de 900 m³ ao lado da ETA. Esse é uma caixa de concreto bipartida, semi enterrada, com 500 m² de área e 2,00 m de altura. A altura útil é limitada em 1,80 m, daí sua capacidade de 900 m³.

A água tratada nesse Reservatório sofre um pós-tratamento (cloração) com Hipoclorito de Cálcio (65% de cloro ativo), de maneira que seja alcançado um residual de cloro de 3 ppm no interior do mesmo podendo chegar a 4 ppm em períodos do Verão, já que na estação quente há maior perda de cloro devido a temperatura mais elevada. A cloração é necessária para garantir a potabilidade da água, destruindo os microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água, já que o tratamento para eliminação da turbidez não garante, por si só, essa potabilidade.

A manutenção dessa concentração de cloro nesse Reservatório é importante para que a água chegue aos pontos de consumos com os residuais de cloro recomendados, que se situam na faixa de 0,2 a 2,0 ppm. Sendo que o decréscimo da concentração de cloro ao longo da rede de distribuição é considerado normal, daí a necessidade de se manter um residual mais elevado no Reservatório (3 a 4 ppm, como dito anteriormente).

A ETA é formada pelos seguintes componentes:

- Casa de Química: sala onde se situam os tanques com solução de sulfato de alumínio, suspensão de hidróxido de cálcio (cal hidratada), suspensão de polieletrólito, e as respectivas bombas dosadoras desses produtos químicos.
- Depósito de Produtos Químicos: local destinado ao armazenamento temporário, para uso imediato, do sulfato de alumínio granulado (saco de 40 kg), cal hidratada (saco de 20 kg), polieletrólito (bombona de 20 L), e hipoclorito de cálcio (balde plásticos de 45 kg).
- Flocculador ou Clarificador: tanque onde a água bruta é tratada, ocorrendo o processo de floculação do sulfato de alumínio e retirada de lama de hidróxido pela parte inferior.
- Filtros de Areia Auto-Limpantes ou Auto-Laváveis: equipamento por onde passa continuamente toda a água decantada, para separação de quaisquer partículas em

suspensão, antes de chegar ao Reservatório de 900 m³, onde a água clorada, fica armazenada para distribuição.

A operação da ECA e da ETA é realizada, atualmente, 3 vezes por semana, por períodos de 5 a 6 horas, visto que a capacidade de produção instalada é maior que o consumo. Em caso de queda do fornecimento de energia elétrica ou falha simultânea no sistema de captação de água (ECA) e de tratamento de água (ETA), a instalação pode operar para conclusão de atividades operacionais e realização de uma parada segura por até 5 dias, segundo os seguintes parâmetros:

- Reservação de 900 m³;
- Média de consumo diário de 125 m³;
- Nível mínimo de segurança de 275 m³; e,
- Tempo disponível de 5 dias.

Estes parâmetros foram definidos considerando o consumo médio normal diário. Caso fossem adotadas medidas de economia a autonomia operacional poderia alcançar 6 dias.

c) Subsistema de Distribuição de Água Potável da FCN

Das Caixas Enterradas 1 e 2 (Reservatório de 900 m³), a água potável é bombeada por uma tubulação metálica para toda a FCN. Da linha de distribuição, parte dela é direcionada ao abastecimento da FCN-CM e sua Utilidade, Restaurante, Terceirizadas (Limpeza) e áreas adjacentes, Brigada de Combate a Incêndio e Portaria 2 (BCI&P2), Colina e Ambulatório.

A distribuição de água em toda a FCN é feita através da bomba de recalque situada na FCN-CM que redistribui ao sistema e mantém assim a rede sempre pressurizada. Dessa tubulação, a água é recalçada para a Bacia do morro para estocagem e posterior uso, mas a Portaria 1 (P1) só recebe a água dessa Bacia. Da outra parte da linha de distribuição, que também é enterrada, é direcionada ao abastecimento do Centro Zoobotânico (para produção de mudas de plantio), FCN-RP&E, Centro de Treinamento e Horto (que é o último ponto de consumo de toda FCN).

Como na FCN não há separação entre o tratamento da água potável da água industrial, a água potável distribuída é uma só, independentemente do uso. Na maior parte dos processos industriais da FCN, o cloro presente na água não constitui problemas nos Circuitos de Produção de Água Desmineralizada (tanto da FCN-CM quanto da FCN-R&E). Nos processos industriais em que a presença de cloro não é desejada são utilizados filtros de carvão ativado que retêm o cloro antes da utilização dessa água.

A FCN-CM, conta com um Sistema de Água e Efluente Industrial que está subdividido nos seguintes circuitos:

- Circuito de Estocagem e Distribuição de Água de Incêndio;
- Circuito de Água de Resfriamento;
- Circuito de Produção, Estocagem e Distribuição de Água Desmineralizada;
- Circuito de Água Gelada;
- Circuito de Esgoto Sanitário; e
- Circuito de Efluente Industrial.

E, a FCN-RP&E, conta com um Subsistema de Água e Efluente Industrial que está subdividido nos seguintes circuitos:

- Circuito de Estocagem e Distribuição de Água de Incêndio;
- Circuito de Água de Resfriamento;
- Circuito de Produção, Estocagem e Distribuição de Água Desmineralizada; e,
- Circuito de Água Gelada;
- Circuito de Esgoto Sanitário; e
- Circuito de Efluente Industrial.

d) Subsistema de Água e Efluente Industrial da FCN-CM

A água potável proveniente da ETA alimenta os banheiros, as pias, os laboratórios e descritos, as seguir, nos seguintes circuitos:

I. Circuito de Água de Incêndio:

A rede de distribuição de água de incêndio instalada é alimentada pela água potável proveniente da ETA e é constituída de tubulações, conjunto motor-bomba, hidrantes, hidrante de recalque, canhão d'água e chuveiros automáticos de emergências. A RTI da FCN-CM fica na Bacia do Morro, conforme exposto anteriormente.

II. Circuito de Água Desmineralizada:

A água potável proveniente da ETA alimenta o processo de produção de água desmineralizada da FCN-CM que consiste, em passar, nessa sequência, por filtro de areia, e filtro de carvão, colunas aniônica e catiônica (de resinas trocadoras de íons) para sua desmineralização. Então, a água desmineralizada é estocada em tanques para posterior distribuição. Na rede interna do processo industrial, a água desmineralizada é utilizada, basicamente, para usinagem (produção e lavagens de componentes e peças), lavanderia e laboratórios.

III. Circuito de Água de Resfriamento:

O Circuito de Água de Resfriamento é provido de uma Torre de Resfriamento de fluxo em contracorrente, com aspiração forçada, produzidas em poliéster com estruturas em aço e revestidas em epóxi, recheadas com placas corrugadas de PVC do tipo colmeia. Essa Torre dispõe de um ventilador axial de pás ajustáveis, que pode atuar em duas velocidades (850 e 1750 rpm).

A água quente, proveniente do processo, entram na Torre pela parte superior e é distribuída por canais abertos desde o topo do recheio, fluindo uniformemente através deste, sendo a água coletada no fundo da bacia da torre, já refrigerada. Durante o processo de resfriamento são adicionados produtos químicos tais como: inibidores de corrosão, hipoclorito de cálcio e dispersantes. A água fria (resfriada) chega ao processo industrial alimentando os diversos equipamentos através de rede de distribuição com pressão $\leq 2,0$ bar(g) e temperatura entre 21 e 31 °C, permitindo assim adequado controle dos diversos níveis de temperatura desejados. Após seu uso no processo industrial, a água quente retorna à Torre, a fim de adquirir as condições ideais para nova alimentação.

IV. Circuito de Água de Gelada:

Este sistema é um circuito fechado de água gelada, utilizando água desmineralizada para make-up, composto por um Resfriador (*chiller*), um tanque pulmão, um tanque coletor, bombas de transferência e rede de alimentação e retorno de água gelada. O sistema tem por finalidade o suprimento de água à temperatura na faixa de 16 a 22 °C na coluna de lavagem de gases.

V. Circuito de Esgoto Sanitário:

Os esgotos sanitários oriundos FCN-CM e das demais área adjacentes são direcionadas a ETE-CM (Estação de Tratamento de Esgoto - Componentes e Montagens), localizado próximo da Colina, para tratamento do tipo UASB, FBAS e DS, que é composto por: pré-tratamento para retenção de sólidos grosseiros, areia e de gordura; EEE (Estação Elevatória de Esgoto) com poço e conjunto moto-bomba para elevação do esgoto ao reator (esta estação recebe o lodo de lavagem dos filtros biológicos e o descarte do decantador Secundário, na ocasião em que estes reatores forem submetidos à lavagem do meio granular e descarte); Reator Anaeróbio de manta de Lodo e Fluxo Ascendente (UASB) para tratamento anaeróbio; Filtros Biológicos Aerados Submersos (FBAS) para tratamento aeróbio; decantador

Secundário (DS) para remoção dos sólidos; Queimador de Biogás para tratamento do gás; e, Leitões de Secagem para tratamento do lodo. Esta ETE-CM foi projetada para uma capacidade de tratamento de esgoto doméstico correspondente a uma vazão média de 1,0 l/s (86,4 m³/dia), o que equivale a uma produção de águas residuárias referente a 500 habitantes. Para tanto, dimensionou-se um UASB com FBAS e DS a fim de conferir o tratamento aeróbio e a remoção de sólidos suspensos do efluente. A produção do lodo secundário retornado ao reator UASB, considerando 20% de redução do lodo volátil: P_{total-lodo} de 8,91 kg SST/d (base seca).

VI. Circuito de Efluente Industrial:

Todos os efluentes industriais oriundos da FCN-CM e são tratados e direcionadas a Bacia de Produtos Químicos para confinamento.

e) Subsistema de Água e Efluente Industrial da FCN-RP&E

A água potável proveniente da ETA alimenta os banheiros, pias, laboratórios e os circuitos descritos a seguir. Além disso, a FCN-RP&E possui duas bacias de estocagem e distribuição de água potável para rede de emergência, uso no circuito de água de água de resfriamento, alimentação do circuito de água desmineralizada, limpeza e lavagens de áreas de alguns setores. Cada bacia possui 5,28 m de comprimento, 4,54 m de largura e 3,69 m de altura, perfazendo um volume de 88,45 m³, totalizando um volume de 176,9 m³, sendo que o volume útil total é de 120 m³.

I. Circuito de Água de Incêndio:

Dos 176,9 m³ de volume total das duas bacias de estocagem e distribuição de água potável da FCN-RP&E, cerca de 32% desse volume 56,9 m³ é armazenado (para Reserva Técnica de Incêndio – RTI) e destinado, exclusivamente a rede de combate ao incêndio, dimensionado para atender a rede preventiva contra incêndio (hidrantes) por 60 minutos. Além disso, a rede de distribuição de água de incêndio instalada é constituída de tubulações, conjunto motor-bomba, hidrantes, hidrante de recalque, canhão d'água e chuveiros automáticos de emergências, sendo que os consumidores individuais de água dos chuveiros contra incêndio são: Os consumidores individuais de água, do sistema de chuveiros automáticos contra incêndio, são: Tanque de armazenamento de amônia; Tanques de armazenamento de gás liquefeito de petróleo (GLP); e, Tanques de armazenamento de

metanol. Ademais, temos outras duas torres de estocagem de água para redução de temperatura dos fornos de sinterização, em caso de emergência.

II. Circuito de Água de Resfriamento:

O Circuito de Água de Resfriamento é provido de três Torres de Resfriamento de fluxo em contracorrente, com tiragem forçada, produzidas em poliéster com estruturas em aço e revestidas em epóxi, recheadas com placas corrugadas de PVC do tipo colmeia. Cada torre dispõe de um ventilador axial de pás ajustáveis, que pode atuar em duas velocidades (850 e 1750 rpm). A pressão dos *headers* de distribuição é mantida acima de 3,5 bar, estando a temperatura de saída na faixa de 20 a 30 °C.

A água quente, proveniente do processo, entra nas Torres pela parte superior e é distribuída por canais abertos desde o topo do recheio, fluindo uniformemente através deste, sendo a água coletada no fundo da bacia da torre, já refrigerada. Durante o processo de resfriamento são adicionados produtos químicos tais como: inibidores de corrosão, hipoclorito de cálcio e dispersantes. A água fria (resfriada) chega ao processo industrial da fabricação de pó de UO₂ alimentando os diversos equipamentos através de rede de distribuição com pressão ≤ 2,0 bar(g) e temperatura entre 21 e 31 °C, permitindo assim adequado controle dos diversos níveis de temperatura desejados. Após o uso da água fria no resfriamento dos equipamentos, a água quente retorna às Torres, a fim de adquirir as condições ideais para nova alimentação.

Além disso, a FCN-E, conta com um Circuito de Água de Resfriamento exclusivo para o seu processo industrial e conta com duas Torres de Resfriamento.

III. Circuito de Água Desmineralizada:

Da água potável proveniente da ETA alimenta o processo de produção de água desmineralizada que consiste, em passar, nessa sequência, por filtro de areia, e filtro de carvão, colunas aniônica e catiônica (de resinas trocadoras iônica) para sua desmineralização. Então, a água desmineralizada é estocada em tanques para posterior distribuição. O sistema tem capacidade de suprir demandas de até 3 m³/h.

Na rede interna de processo, a Fábrica de Pó fornece água desmineralizada basicamente para os sistemas de precipitação, filtração e lavagem de gases, além de alimentar o sistema de geração de vapor saturado. Já a Fábrica de Pastilhas, utiliza água desmineralizada na sinterização de pastilhas, lavagem de gases de processo e retificação, limpeza e lavagens.

IV. Circuito de Água Gelada:

Este sistema é um circuito fechado de água gelada, utilizando água desmineralizada para *make-up*, composto por um Resfriador (*chiller*), um tanque pulmão, um tanque coletor, bombas de transferência e rede de alimentação e retorno de água gelada. O sistema tem por finalidade o suprimento de água à temperatura na faixa de 16 a 22 °C na coluna de lavagem de gases.

V. Circuito de Esgoto Sanitário:

Os esgotos sanitários oriundo da FCM-RP&E são provenientes de todos os banheiros e copas e são encaminhadas a ETE-RP&E (Estação de Tratamento de Esgoto – Reversão e Pastilhas & Enriquecimento Isotópico de Urânio) para tratamento, que é composto por: um tratamento primário, contendo 3 tanques sépticos para decantação dos sólidos em suspensão; um tratamento complementar, contendo 3 filtros biológicos para redução da demanda química e bioquímica de oxigênio; um sistema de desinfecção, contendo dosador de hipoclorito de sódio, para a eliminação dos coliformes presentes no efluente (atualmente não utilizado); e um sistema de disposição final do efluente, contendo uma rede coletora de esgotos e caixas de inspeção para descarte do efluente tratado no Ribeirão Água Branca.

O circuito de esgoto sanitário está localizado ao lado da Lagoa de Polimento, tendo sido projetado para atender à demanda total de 300 contribuintes/dia, com eficiência mínima na remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) de 90% e com eficiência de 100% na remoção de coliforme fecais. Está posicionado abaixo do espelho de água da Represa do Funil. Além disso, as instalações prediais da P1, Ambulatório, Centro Zoobotânico, Centro de Treinamento e Horto possuem fossa sépticas próprias.

VI. Circuito de Efluente Industrial:

Os efluentes industriais oriunda do processo industrial da FCN-RP&E gerados do tratamento de efluentes industriais são destinadas a Lagoa de Polimento e, de acordo com a análise físico-química são liberados ao Ribeirão Água Branca.

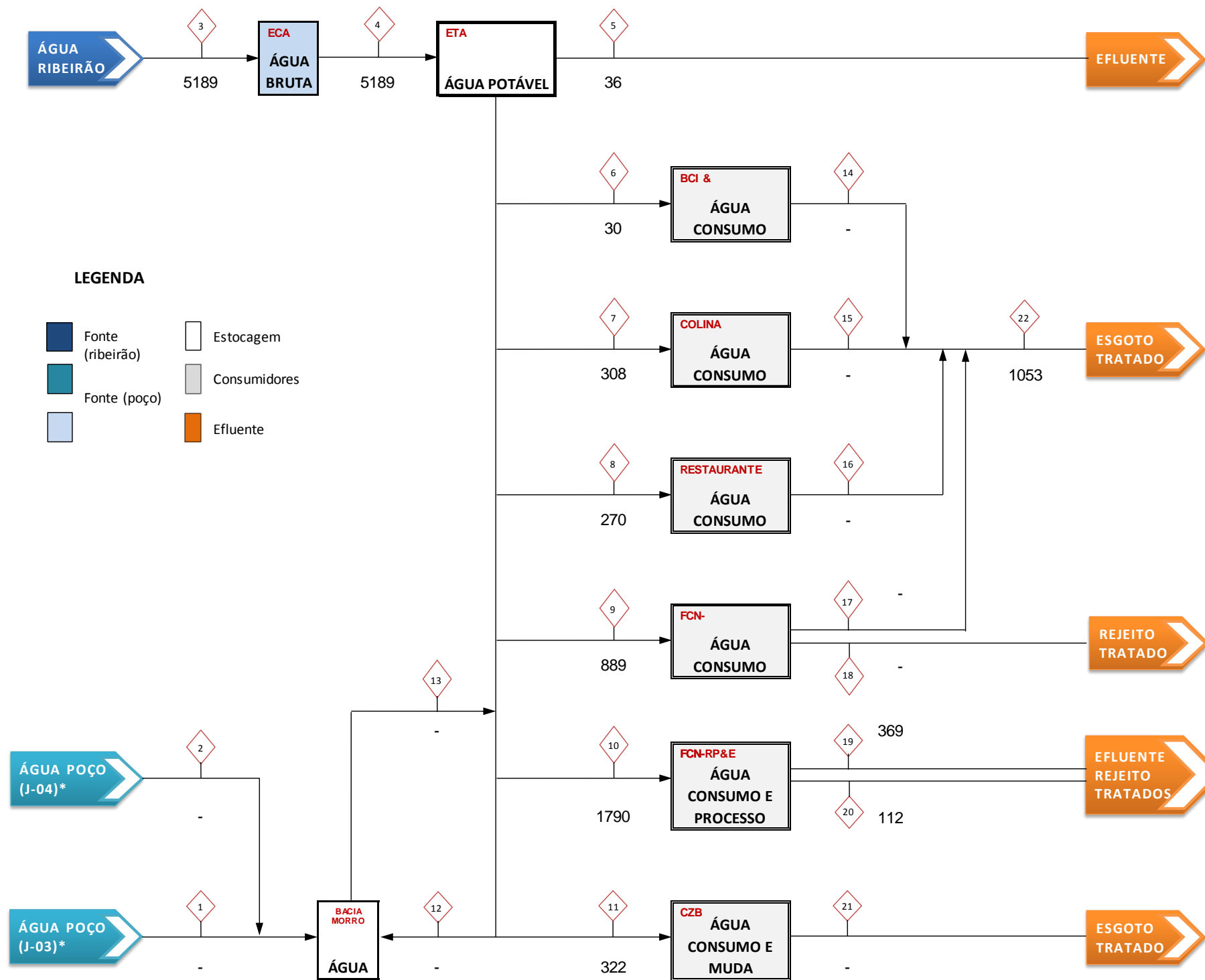
As drenagens de águas e/ou produtos químicos não radioativos no interior da FCN-RP e FCN-E, uma vez que os mesmos são de uso local através de dosagens manuais e/ou por sistema tambor/bombona, como no caso da alimentação de peróxido de hidrogênio. Todas as correntes da água residual de lavagem de mãos em pias e laboratórios, lavagem de pisos ou

captação de águas de condensação de sistemas de refrigeração local são coletadas para posterior tratamento. Tais escoamentos são levados à tanques de coleta (tipo *sump*) e posteriormente são bombeados ao tratamento de rejeitos líquidos radioativos, uma vez que há a possibilidade de incorporação de urânio nestas captações.

Os líquidos não radioativos recolhidos nos pátios de estocagem de cilindros de UF₆, de amônia e de metanol são recolhidas em vaso intermediário desses produtos químicos localizados na área externa da FCN-RP&E, que serve como acumulador. Em caso de acidente não há danos ao meio ambiente, pois os líquidos ficarão retidas nesse vaso podendo ser neutralizado com leite de cal para atendimento aos padrões permitidos pelo INEA/CONAMA. E, no caso dos líquidos radioativos, os mesmos devem ser liberados de acordo com padrões permitidos pela CNEN.

Com base nos dados levantados é possível elaborar fluxogramas como o apresentado nas figuras 16 e 17.

NOTA: Valores em m³.



(*) Uso da água de poço somente em casos de emergência.

Figura 16 - Diagrama de Água e Efluente da FCN.

Fonte: O Autor (2022).

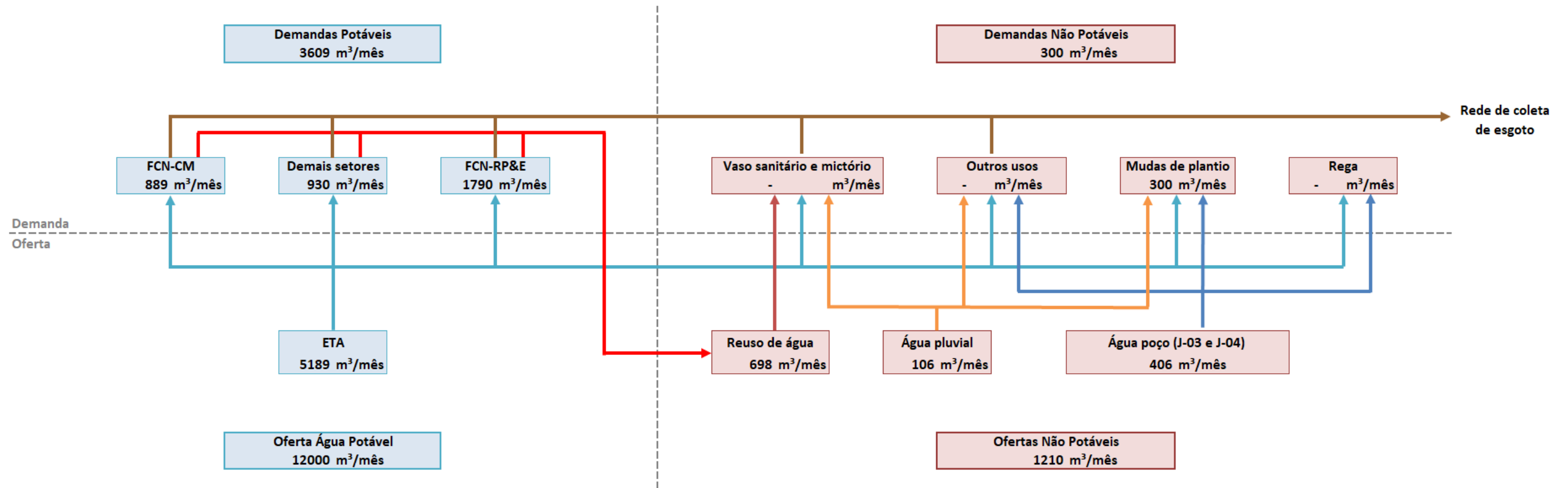


Figura 17 - Matriz Hídrica da FCN.

Fonte: O Autor (2022).

Legenda:

- Água Potável
- Água de poço
- Água cinza
- Água não Potável (reuso)
- Água não Potável (pluvial)
- Água negra

5.2.4 Diagnóstico Hídrico

No diagnóstico é feita a análise das informações e dados coletados anteriormente, possibilitando identificar se os pontos de monitoramento existentes atendem ao interesse do PCA. É normal que a instrumentação existente tenha sido instalada para atender os interesses da produção e/ou da segurança operacional e não atende às necessidades de um PCA. No diagnóstico, os sistemas hídricos industriais são inspecionados para identificar a existência de derivações hídricas que não constem nas plantas (desenhos técnicos) e mapas. Neste caso deve ser avaliado se a derivação atende o mesmo setor ou processo industrial. Caso se constate que há derivações para outras áreas, deve-se realocar o sensor.

Como mencionado, em razão da falta de calibração ou da instalação dos instrumentos de medição em local inadequado, não haverá correlação da variável de interesse com a variável de referência, cujo comportamento típico foi apresentado na Figura 8, razão pela qual somente após sanadas estes problemas é que se deve iniciar a aquisição de dados no âmbito do PCA.

As perdas hídricas podem ser classificadas como: perdas voluntárias ou necessárias e perdas involuntárias ou indesejáveis. As perdas voluntárias correspondem ao volume necessário para que a operação unitária se desenvolva e, geralmente, a esta perda se dá por questões técnicas. Já as perdas involuntárias resultam da ineficiência hídrica do sistema em análise e correspondem ao uso excessivo de água ou ao uso de água “nobre” quando se poderia estar utilizando água ou efluente de menor qualidade. Geralmente, a perda involuntária ocorre por questões tecnológicas, atitudinais e procedimentais, como por exemplo obsolescência, desgaste, dano, desatualização, inobservância aos procedimentos internos ou descomprometimento do colaborador. Algumas perdas podem ser facilmente identificadas, outras requerem monitoramento nos sistemas hídricos industriais. Para cada oportunidade identificada deve ser feita a proposição de pelo menos uma ação de conservação.

Para avaliação da performance hídrica da empresa deve-se aplicar os indicadores de performance hídrica mais adequado.

Uma vez iniciado a aquisição de dados para o PCA, deve-se gerar as curvas correlacionais conforme equação 10 e deve ser acompanhada a evolução comportamental destas curvas. A análise da evolução deve indicar, ao gestor de água, a necessidade de adoção de ações de conservação hídrica e a eficácia da ação tomada.

O programa de conservação de água proposto para a FNC parte da constatação que a FCN necessita de um sistema de gerenciamento de água, razão pela qual este processo de elaboração do programa se inicia com o pré-diagnóstico.

Inicialmente, abordou-se questionamentos que devem ser feitos e necessários à construção, implantação e manutenção de um programa de conservação de água na indústria em foco.

Nesta etapa, devido à ausência de instrumentos de medição necessários foi utilizado dados históricos existentes, adotando-se análise macro em conformidade com os dados disponibilizados para o período de 2017 a 2019, que serão listadas a seguir algumas ações (muitas delas de simples operacionalização) que, se implementadas, têm por objetivo uma otimização da gestão da água na indústria.

5.2.5 Performance Hídrica na FCN

Para se avaliar os sistemas hídricos, na fase de diagnóstico deve-se realizar o cálculo de indicadores de performance hídrica referentes aos últimos 12 meses. Com isto constrói-se uma base de referência (*status quo*) que permitirá avaliar o PCA.

Para a FCN recomenda-se indicadores para o complexo industrial como um todo, para os prédios administrativos, para as áreas industriais, para sistemas e subsistemas hídricos existentes, lembrando que para as áreas administrativas a variável de referência é o número de colaboradores e para o complexo e áreas industriais a variável de referência é a produção de óxido de urânio. Os indicadores recomendados são: Uso Específico da Água para água bruta e para cada tipo de água, como potável e desmineralizada; Lançamento Específico do Efluente e eficiência hídrica.

5.2.6 Sistema de Gerenciamento de Águas, Efluentes e Despejos Industriais da FCN - SIGAED

Visando auxiliar o gerenciamento de água e efluentes da FCN está sendo proposto o SIGAED, que consiste de uma planilha em Excel, Figura 18, que a partir de medição setorizada e controles de qualidade em funcionamento, será possível inserir os dados medidos e calculados os seus indicadores de performance hídrica utilizado. Por meio desta planilha é possível inserir os dados solicitados na aba “ED” (Entrada de dados), que posteriormente calculará os indicadores de performance hídrica conforme a aba “RD” (Resultados dos dados), apresentado nas Figuras 19 a 27 com seus respectivos comentários.

Observa-se que para o sucesso da utilização da planilha se faz necessário que os medidores estejam calibrados e instalados nos pontos de interesse ao PCA.

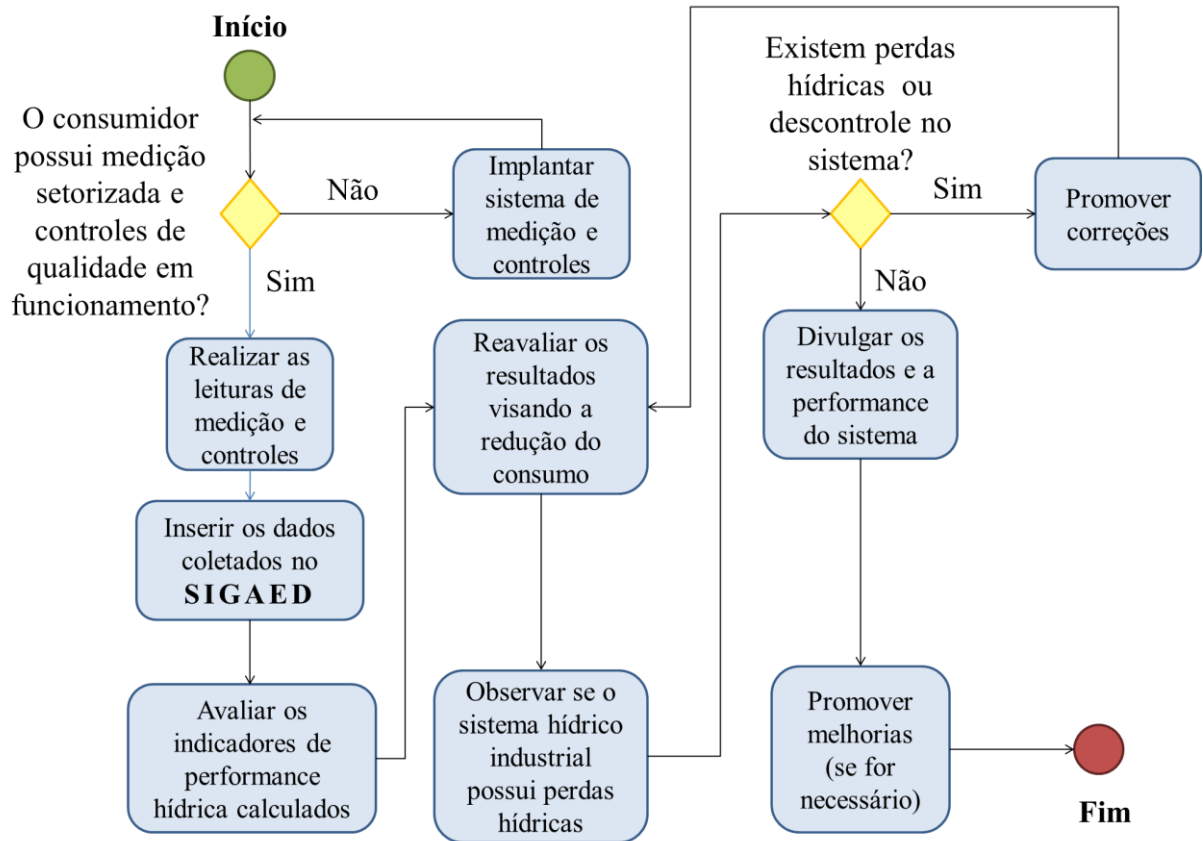


Figura 18 - Procedimento para Utilização da Planilha SIGAED.

Fonte: O Autor (2022).

Os gráficos desses indicadores serão apresentados baseados nesses resultados dos dados dispostos nas abas “GD1” a “GD8” (Gráficos dos dados) das FCN-CM e FCNRP&E e caso esses gráficos apresentem dados que são controlados mas estão fora da especificação do sistema ou apresentem alguma inconsistência poderão ser verificados no local do consumo para verificação de existência ou não de vazamentos, desperdícios ou perda hídrica para validação e divulgação desses resultados na rede de comunicação interna da FCN.

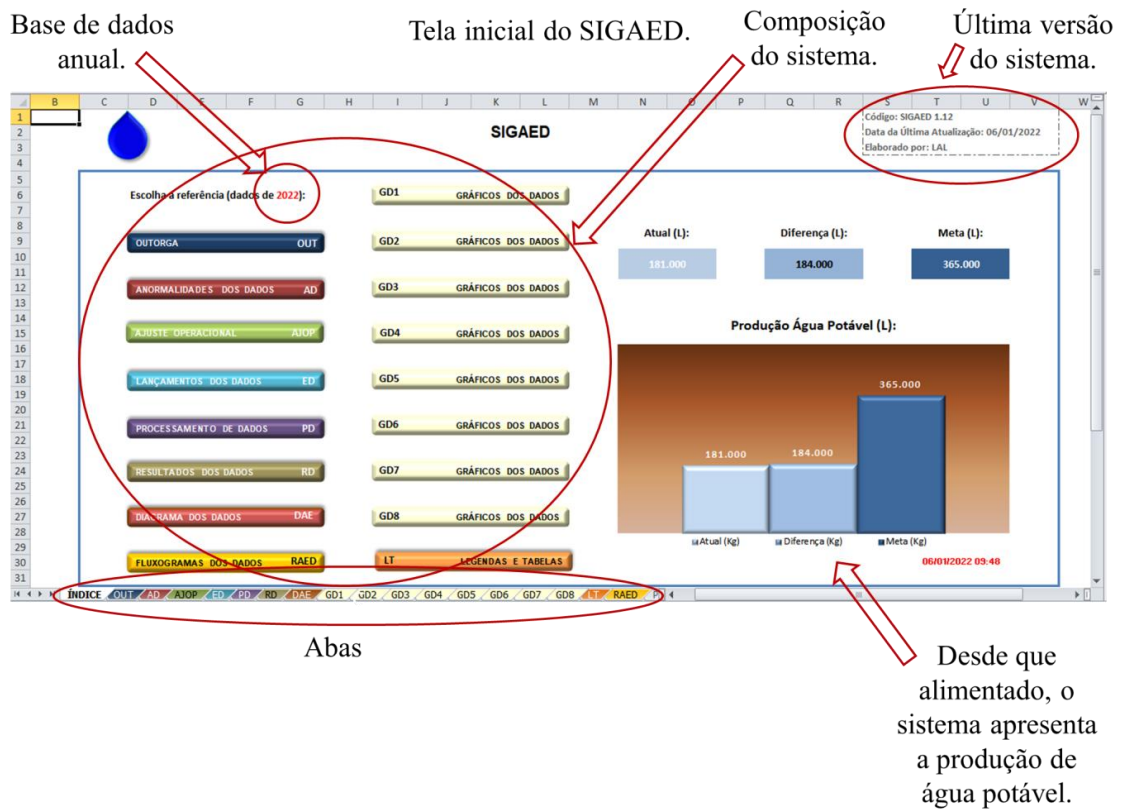


Figura 19 - Tela Inicial da Planilha SIGAED.
Fonte: O Autor (2022).

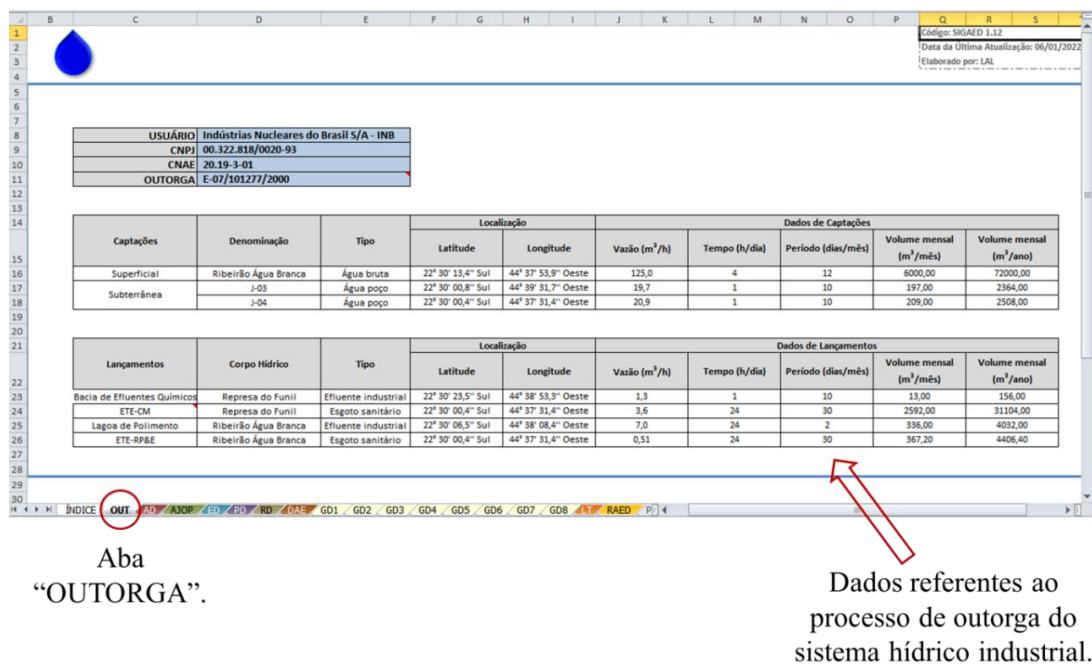


Figura 20 - Tela "OUT" (OUTORGA) da Planilha SIGAED.
Fonte: O Autor (2022).

6	DATA	HORÁRIO	AJUSTE OPERACIONAL											
7	← Índice	(hh:mm)	TAG	Parâmetro Atual	Parâmetro Ajustado	Responsável	Status	TAG	Parâmetro Atual	Parâmetro Ajustado	Responsável	Status	TAG	Parâmetro
11	01/01/2022													
12	02/01/2022													
13	03/01/2022													
14	04/01/2022													
15	05/01/2022													
16	06/01/2022													
17	07/01/2022													
18	08/01/2022													
19	09/01/2022													
20	10/01/2022													
21	11/01/2022													
22	12/01/2022													
23	13/01/2022													
24	14/01/2022													
25	15/01/2022													
26	16/01/2022													
27	17/01/2022													
28	18/01/2022													
29	19/01/2022													
30	20/01/2022													
31	21/01/2022													
32	22/01/2022													
33	23/01/2022													
34	24/01/2022													
35	25/01/2022													
36	26/01/2022													
37	27/01/2022													
38	28/01/2022													
39	29/01/2022													
40	30/01/2022													

Aba “AJUSTE OPERACIONAL”.

Planilha permite o controle para alteração das variáveis de processo controladas do sistema hídrico industrial.

Figura 21 - Tela “AJOP” (AJUSTE OPERACIONAL) da Planilha SIGAED. Fonte: O Autor (2022).

6	DATA	PRODUÇÃO		HORÍMETROS												
7	← Índice	Elemento Combustível (EC)	Dióxido de Urânio (UO ₂)	Horas paradas do sistema de captação de água subterrânea (J-03)	Horas paradas do sistema de captação de água subterrânea (J-04)	Horas paradas do sistema de captação de água de superfície (ECA)	Horas paradas do sistema de tratamento de água (ETA)	Horas paradas do sistema de lodo (ETA)	Horas paradas do sistema de produção de água desmi (FCN-CM)	Horas paradas do sistema de destino do esgoto sanitário (ETE-CM)	Horas paradas do sistema de destino do despejo industrial (Bacia de Efluentes Químicos)	Horas paradas do sistema de produção de água desmi (FCN-RP&E)	Horas paradas do sistema de destino do esgoto sanitário (ETE-RP&E)	Horas paradas do sistema de destino do despejo industrial (Lagoa de Polimento)	Vazão volumétrica de alimentação de água subterrânea (J-03)	Va volun r alime de subte (J-
8		kg	kg	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	m ³ /h	m
11	01/01/2022															
12	02/01/2022															
13	03/01/2022															
14	04/01/2022															
15	05/01/2022															
16	06/01/2022															
17	07/01/2022															
18	08/01/2022															
19	09/01/2022															
20	10/01/2022															
21	11/01/2022															
22	12/01/2022															
23	13/01/2022															
24	14/01/2022															
25	15/01/2022															
26	16/01/2022															

Aba “ENTRADA DOS DADOS”.

Planilha permite a inserção diária de todos os dados de controle do processo do sistema hídrico industrial.

Figura 22 - Tela “ED” (ENTRADA DE DADOS) da Planilha SIGAED. Fonte: Elaboração Própria

DATA	HORÍMETROS											Volume de água subterrânea captada (J-03)	Volume de água subterrânea captada (J-04)	Volume de água de superfície captada (ECA)	Volume água pol (ETA)	
01/mm/aaaa	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	m³	m³	m³	m³	
01/01/2022																
02/01/2022																
03/01/2022																
04/01/2022																
05/01/2022																
06/01/2022																
07/01/2022																
08/01/2022																
09/01/2022																
10/01/2022																
11/01/2022																
12/01/2022																
13/01/2022																
14/01/2022																
15/01/2022																
16/01/2022																

Aba “PROCESSAMENTO DOS DADOS”.

Planilha calcula todos os dados lançados da aba “ED” para controle do sistema hídrico industrial.

Figura 23 - Tela “PD” (PROCESSAMENTO DE DADOS) da Planilha SIGAED.

Fonte: O Autor (2022).

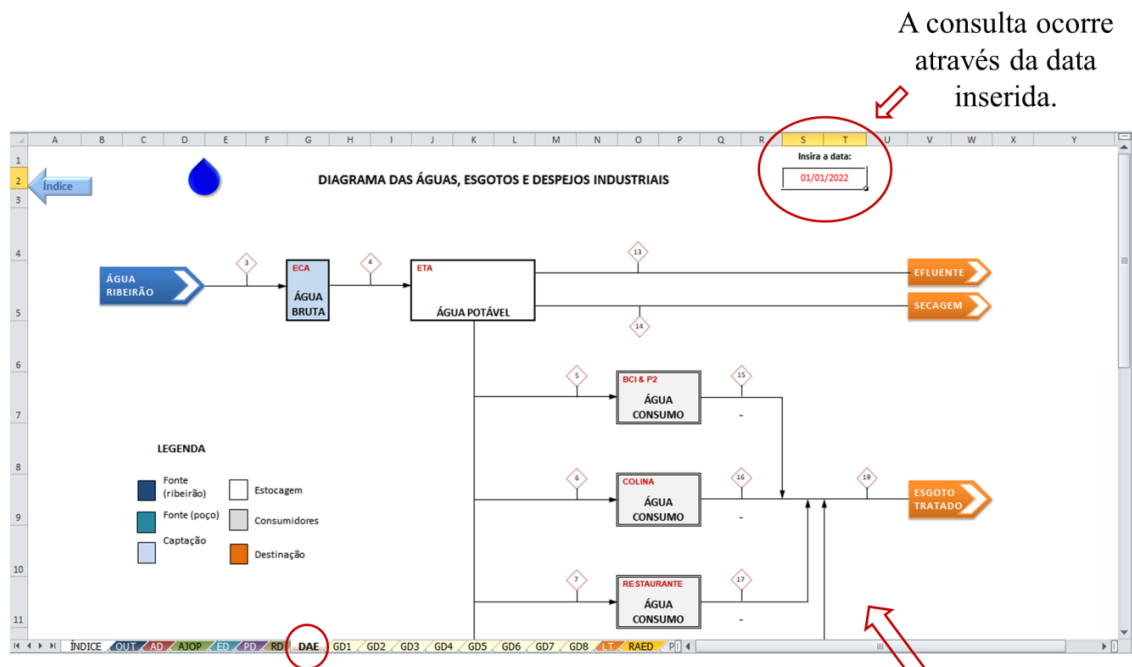
DATA	FCM-CM											INDICA				
01/mm/aaaa	Volume Água Matéria Prima (VMP)	Volume Perdas Voluntárias (VPV)	Volume Perdas Involuntárias (VPI)	Volume Restituído (VR)	Volume Água Utilizada (VU)	Volume Água Consumido (VC)	Volume Outorgado Captação (VOC)	Volume Outorgado Lançamento (VOL)	Reserva Outorga Captação (VRC)	Reserva Outorga Lançamento (VRL)	Eficiência Hídrica (EH)	Ineficiência Hídrica (IH)	Uso Específico da Água (UEA)	Consumo Específico da Água (CEA)	Lançam Específic Efluente	
	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³						
01/01/2022																
02/01/2022																
03/01/2022																
04/01/2022																
05/01/2022																
06/01/2022																
07/01/2022																
08/01/2022																
09/01/2022																
10/01/2022																
11/01/2022																
12/01/2022																
13/01/2022																
14/01/2022																
15/01/2022																
16/01/2022																
17/01/2022																
18/01/2022																
19/01/2022																
20/01/2022																
21/01/2022																
22/01/2022																
23/01/2022																
24/01/2022																
25/01/2022																
26/01/2022																
27/01/2022																
28/01/2022																
29/01/2022																
30/01/2022																

Aba “RESULTADOS DOS DADOS”.

Planilha apresenta todos os resultados obtidos da aba “PD” do sistema hídrico industrial.

Figura 24 - Tela “RD” (RESULTADOS DOS DADOS) da Planilha SIGAED.

Fonte: O Autor (2022).

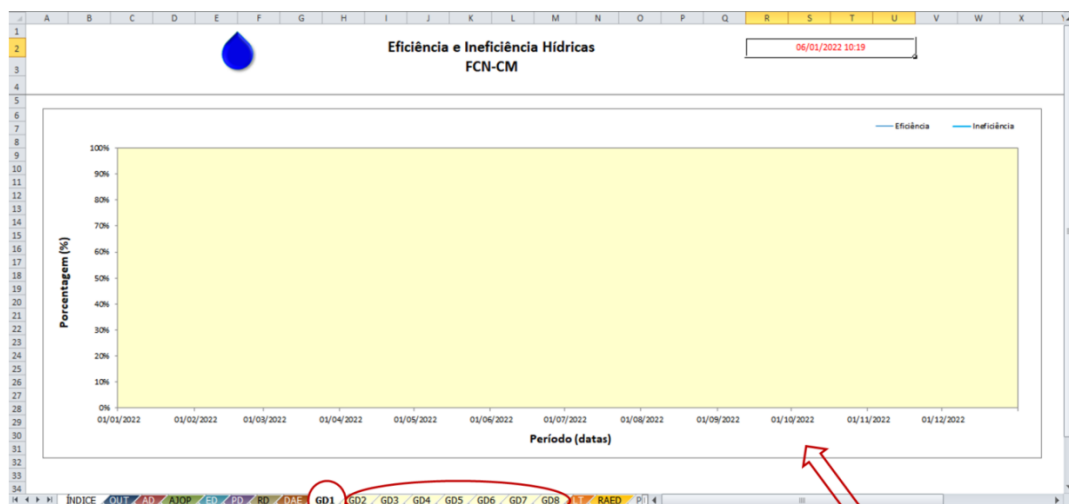


A consulta ocorre através da data inserida.

Aba “DIAGRAMA DAS ÁGUAS, ESGOTOS E DESPEJOS INDUSTRIAIS”.

Planilha apresenta todos os dados de controle obtidos das entradas e saídas de todo o sistema hídrico industrial.

Figura 25 - Tela “DAE” (DIAGRAMA DAS ÁGUAS, ESGOTOS E DESPEJOS INDUSTRIAIS) da Planilha SIGAED. Fonte: O Autor (2022).



Aba “GRÁFICO DOS DADOS 1”.

Abas “GD2” a “GD8” apresentam os demais gráficos dos dados dos indicadores de performance hídrica.

Planilha apresenta os gráficos compilados dos dados obtidos da aba “RD” do sistema hídrico industrial.

Figura 26 - Tela “GD1” (GRÁFICO DOS DADOS 1) da Planilha SIGAED. Fonte: O Autor (2022).

Clique para adicionar cabeçalho

PLANO DE CONTROLE DA AMOSTRAGEM

PONTO DE COLETA DE AMOSTRA	LOCAL DE COLETA DE AMOSTRA	TIPO DE AMOSTRA	FREQUÊNCIA	PARÂMETRO DE CONTROLE	UNIDADE	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO		LIMITES DE DETECÇÃO		TÉCNICA DE INSPEÇÃO
						ESPECIFICAÇÃO	FORA DA ESPECIFICAÇÃO	MÍNIMO	MÁXIMO	
1	Alimentação do J-03 e J-04	Água Subterrânea	3 amostras por semana	pH	unidades	≈ 8,0*	Após 2 amostras consecutivas	0	14	Potenciometria
				SS	ppm	< 30		0,1	100	Gravimetria
				SO ₂	ppm	≈ 0		0,01	1000	Titulometria
				Turbidez	ppm	< 50		0,05	0,05	Turbidometria
				Dureza Total (em CaCO ₃)	ppm	< 200		0,01	1000	Titulometria
2	Alimentação da ETA	Água Fluvial	3 amostras por semana	pH	ppm	≈ 8,0*	Após 2 amostras consecutivas	0	14	Potenciometria
				SS	ppm	< 30		0,1	100	Gravimetria
				SO ₂	ppm	≈ 0		0,01	1000	Titulometria
				Turbidez	ppm	< 50		0,05	0,05	Turbidometria
				Dureza Total (em CaCO ₃)	ppm	< 200		0,01	1000	Titulometria
3	Clarificador	Água Clarificada	1 amostra quando solicitado	pH	unidades	6,5 a 7,5	Após a repetição da amostra	0	14	Potenciometria
				SS	ppm	< 5		0,1	100	Gravimetria
				Turbidez	NTU	≤ 5		0,05	1000	Turbidometria
				pH	unidades	6,5 a 7,5		0	14	Potenciometria
				RAED	unidades	6,5 a 7,5		0	14	Potenciometria

Aba “PLANO DE CONTROLE DA AMOSTRAGEM”.

Planilha apresenta o controle da qualidade dos pontos de amostragem conforme critérios de aceitação para controle do processo do sistema hídrico industrial.

Figura 27 - Tela “PCA” (PLANO DE CONTROLE DA AMOSTRAGEM) da Planilha SIGAED.
Fonte: O Autor (2022).

O sucesso do PCA depende da implementação de uma política de melhorias constantes que permitirá a avaliação contínua da oferta e demanda da água na FCN. Com base nisso, segue modelo de plano de ação da Tabela 2, a ser adotado na FCN, contendo os seguintes itens, não limitado a esses:

Tabela 2 - Modelo do Plano de Ação para Gestão Hídrica na FCN.
Fonte: O Autor (2022).

Plano de Ação							
Ação	O quê?	Onde?	Por quê?	Como?	Quanto?	Quando?	Quem?
A	Adoção de indicadores de performance hídrica	FCN	Monitorar e controlar o consumo de água	SIGAED	R\$ 0,00 (equipamentos disponíveis e mão de obra disponível)	Indeterminado	Grupo de trabalho
B	Criação de rotinas de verificação e controle de vazamentos	FCN	Evitar o desperdício de água	Auditorias Hídricas	R\$ 0,00 (mão de obra disponível)	Indeterminado	Grupo de trabalho

Continuação da Tabela 2.

Ação	O quê?	Onde?	Por quê?	Como?	Quanto?	Quando?	Quem?
C	Criação de procedimentos de manutenção para controle de vazamentos	FCN	Evitar o desperdício de água	Documentos de qualidade	R\$ 0,00 (mão de obra disponível)	Indeterminado	Grupo de trabalho
D	Instalação de medições de vazão dos setores consumidores de água	FCN	Reduzir o consumo excessivo de água potável	Projeto de instalação de medidores de vazão	R\$ 0,00 (equipamentos em estoque e mão de obra disponível)	Projeto de instalação	Grupo de trabalho
E	Instalação de aparelhos hídricos-sanitários economizadores de água nos setores consumidores de água	FCN	Reduzir as perdas hídricas	Projeto de instalação de aparelhos hídricos	R\$ 0,00 (equipamentos em estoque e mão de obra disponível)	Projeto de instalação	Grupo de trabalho

6 CONCLUSÃO

O fato da FCN não dispor de um sistema de gestão da oferta hídrica e da demanda de água e, por consequência, não dispor de uma rede de monitoramento confiável dos pontos de captação e de consumo de água, impossibilitou a realização de um estudo de caso. O pré-diagnóstico basicamente consistiu no levantamento de dados e informações que possibilitassem a elaboração de fluxogramas hídricos, mas a inexistência de dados impossibilitou a realização de balanços hídricos e do cálculo de indicadores de performance hídrica que refletissem o *status quo* da FCN. A falta de dados confiáveis também impossibilitou que se pudesse realizar um diagnóstico hídrico.

Entende-se que os objetivos propostos no âmbito dessa dissertação foram alcançados ao se propor a implementação de um PCA para a FCN a partir da constituição de uma Comissão de Conservação de Água e sua inclusão no organograma da empresa, bem como a adoção do sistema de apoio ao gerenciamento da água e efluentes da FCN intitulado SIGAED.

7 PROPOSIÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como demonstrado, a FCN, embora não seja um usuário hidroatensivo, está comprometida com sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica, razão que a deve motivar a estruturar um sistema de gestão de água. Tal motivação induz para que esta dissertação possa servir de base para futuros estudos neste segmento industrial. Tendo em conta que trata-se de um segmento estratégico e de interesse à segurança nacional, representado por uma única empresa pública, entende-se que dificilmente não lhe será assegurado suprimento de água, mesmo porque a mesma se encontra junto ao reservatório da UHE Funil, ou seja, em caso de indisponibilidade hídrica do Ribeirão Água Branca, a FCN tem a alternativa de captação no reservatório da UHE Funil. Outra alternativa é o uso de água pluvial na FCN. Tal estudo deve objetivar o aproveitamento de água pluvial captada nos telhados e áreas pavimentadas da FCN em substituição à água captada no Ribeirão Água Branca.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**, de 05 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado Federal: Diário Oficial da União (DOU), 1988.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997, que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Senado Federal: Diário Oficial da União (DOU), 1997.
- BRASIL. **Lei nº 13.501**, de 30 de outubro de 2017, que altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. Brasília, DF: Senado Federal: Diário Oficial da União (DOU), 2017.
- BRASIL. **Resolução CONAMA/MMA nº 357**, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União (DOU), 2005.
- ABNT. **NBR 10844 - Instalações prediais de águas pluviais - Procedimento**. Associação de Normas Técnicas, São Paulo: ABNT, 1989, 13p.
- ABNT. **NBR 15527 - Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos** / Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo: ABNT, 2019, 8p.
- ABNT. **NBR ISO 9001 - Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos** / Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo: ABNT, 2015a, 32p.
- ABNT. **NBR ISO 14001 - Sistema de Gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso** / Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo: ABNT, 2015b, 41p.
- ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília, DF: ANA, 2019. 75p.

- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020: Informe Anual** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília, DF: ANA, 2020. 118p.
- BAVAR, M.; SARRAFZADEH, M. H.; ASGHARNEJAD, H.; FIROUZ, H. N. “Water management methods in food industry: Corn refinery as a case study”. **Journal of Food Engineering**, Volume 238, December, 2018, 78-84p.
- CNI. **O Uso Racional da Água no Setor Industrial** / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2 ed., Brasília, DF: CNI, 2017. 240p.
- CUNHA, E. **Metodologia para Redução de Efluente Líquido Industrial na Fonte: Uma Proposta a Partir da Experiência da DETEN QUÍMICA S. A.** Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2006, 235p.
- FIESP/CIESP. **Conservação e Reuso de Água - Manual de Orientações Para o Setor Industrial** / Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Vol. 1. São Paulo, SP: FIESP, 2004. 90p
- FIRJAN. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria** / Federação das Indústrias do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: DIM, 2015. 35p.
- GALIZONI, T. **Modelo de Gestão da Demanda de Água na Produção de Bens e Serviços: O Caso de uma Siderúrgica.** Trabalho Final de Graduação (TFG). Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, 2015. 70p.
- GOMES, M. R. **Proposta de indicadores como Instrumento à Gestão de Recursos Hídricos na Indústria.** Trabalho Final de Graduação (TFG). Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, 2013. 99p.
- LIMA, E. P. C. **Água e Indústria: experiências e desafios.** 1 ed. Brasília: Infinita Imagem, 2018. 119p.
- LISBOA, N. V. S. V. **Indicadores de Performance Hídrica como Ferramenta De Gestão do Uso de Água na Indústria: O Caso de uma indústria Latas de Alumínio.** Trabalho Final de Graduação (TFG). Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, 2019. 81p.
- 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**, volumes 1 e 2. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2002. 399p.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2005. 144p.

- NAVARRO-RAMÍREZ, V.; HERNANDEZ, J. R.; SAMANIEGO, M. G.; BURGUEÑO, J. E. R. “Methodological frameworks to assess sustainable water resources management in industry: A review”. **Ecological Indicators**, v. 119, p.1-15, dezembro, 2020.
- NOGUEIRA, D. B. **Mapeamento do potencial de conservação de água, de um processo galvânico de cromo duro, em uma indústria de autopeças**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, 2020, 72p.
- SILVA, G. A.; KULAY, L. A. “Água na Indústria”. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo, SP: Escrituras Editora, 2006. 748p.
- SKOUTERIS, G.; OUKI, S.; FOO, D.; SAROJ, D.; ALTINI, M.; MELIDIS, P.; COWLEY, B.; ELLS, G.; PALMER, S.; O'DELL, S. “Water footprint and water pinch analysis techniques for sustainable water management in the brick-manufacturing industry”. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, 786-794p., janeiro, 2018.
- TORRES, T. L.; OLIVEIRA, J. C.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; HENKES, J. A. “Gestão do Uso da Água na Indústria: Aplicação do Reuso e Recuperação”; **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**; Florianópolis, v. 7, n. 2, 370-385p., abril/junho, 2018.