



**PEDRO EDUARDO DIAS BARBOSA**

**GESTÃO ESTRATÉGICA DOS RECURSOS HÍDRICOS  
DE UMA EMPRESA DE AGROQUÍMICOS**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**PEDRO EDUARDO DIAS BARBOSA**

**GESTÃO ESTRATÉGICA DOS RECURSOS HÍDRICOS DE UMA EMPRESA  
DE AGROQUÍMICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. (a). Dr. (a). Paula Peixoto Assemany

Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

**PEDRO EDUARDO DIAS BARBOSA**

**GESTÃO ESTRATÉGICA DOS RECURSOS HÍDRICOS DE UMA EMPRESA  
DE AGROQUÍMICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Ambiental e Sanitária.

APROVADA em 08 de abril de 2021

Dra. Paula Peixoto Assemany UFLA

Dra. Camila Silva Franco UFLA

Juliano Curi de Siqueira UFLA

Prof (a). Dr (a). Paula Peixoto Assemany

Orientadora

---

**LAVRAS – MG**

**2021**

À minha família por todo amor, carinho e apoio.

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais José e Rosana por todo esforço que fizeram para que eu pudesse trilhar este caminho. Também agradeço pelos valores ensinados e por todo amor, carinho, paciência e compreensão.

Aos meus irmãos, José e Paulo, pelo amor incondicional, por sempre me apoiarem e me ajudarem em todos os momentos.

A minha namorada Karen, pelo amor, carinho, companheirismo e por sempre permanecer ao meu lado.

Aos meus amigos de Poços de Caldas, em especial, Gabriel Antônio, João Pedro, por todos os anos de amizade, inclusive os que estive ausente.

Aos meus amigos da graduação, em especial André, Beatriz, Alice, Ana Carolina e Náthaly, pelos momentos felizes, por todas as dificuldades que superamos juntos, pelos conselhos e por terem me tornado uma pessoa melhor.

A minha orientadora, Paula, por todos os ensinamentos, conversas e paciência.

Aos professores que me acompanharam durante a graduação por proporcionar enorme conhecimento.

Aos meus companheiros de trabalho, por todo o companheirismo e ensinamentos.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade para a realização deste trabalho.

Por fim, deixo meu agradecimento a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

## RESUMO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a vida e possui inúmeras utilizações, sendo utilizada desde irrigação para grandes plantações e até dentro das indústrias, onde é utilizada como matéria-prima, solvente ou um meio para troca de calor. O objetivo deste trabalho foi avaliar estrategicamente a gestão da água em uma empresa do setor de agroquímicos, via construção de um balanço hídrico reconciliado (BHR) com a metodologia desenvolvida pela Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM), e propor melhorias para a empresa com uma abordagem na Produção mais Limpa (P+L). A construção do balanço hídrico iniciou-se com visitas técnicas e levantamento de informações com operadores e engenheiros da fábrica, a fim de se determinar o melhor volume de controle e período para análise, sendo escolhido toda área da empresa com exceção do centro de pesquisa, durante os meses de junho a outubro de 2020. A seguir, seguiu-se para a construção do diagrama de blocos e da planilha com os dados coletados de vazões para se realizar reconciliação com a utilização da qualidade de informação (QI). Foram quantificadas 98 correntes, e a partir da reconciliação foi possível zerar a diferença entre as entradas e saídas de água na empresa como um todo e em cada bloco. Com os dados reconciliados foram propostos indicadores ambientais, entre eles a pegada hídrica (PH). Foram identificados os principais consumidores de água, sendo eles a água como matéria-prima, sendo este uso o responsável pelo consumo de 3,21 t/h; a limpeza e descontaminação das áreas industriais consumindo cerca de 0,96 t/h; e as torres de resfriamento com um consumo de 0,96 t/h de água. Também foram encontradas as principais correntes a serem observadas com mais atenção, devido sua pouca confiabilidade, como é o caso das correntes de efluentes enviadas para coprocessamento, em sua maioria classificadas como informação sem confiança (ISC) na escala QI. Como resultado da PH foi encontrado o valor de 0,62 m<sup>3</sup> de água para cada tonelada de produto produzido, cerca de 77% menor que empresas do setor químico brasileiro. Assim conclui-se que a utilização do BHR será de grande valia, possibilitando identificar os pontos de maior consumo e críticos na medição. Por meio das melhorias propostas para a empresa, acredita-se que seja possível uma economia de água de 1,52 m<sup>3</sup> por hora com utilização de água reciclada nos processos.

**Palavras-chave:** metodologia TECLIM; balanço hídrico reconciliado; indústria química; uso racional da água; conservação de recursos hídricos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escopo de atuação da metodologia Produção mais Limpa.....	17
Figura 2 - Esquema das principais correntes e hidrômetros .....	27
Figura 3 - Escala QI para empresa.....	30
Figura 4 - Planilha Excel Reconciliação dos dados utilizando Solver .....	31
Figura 5 - Exemplificação parcial do diagrama do balanço hídrico .....	37
Figura 6 - Representação macro do BHR .....	38
Figura 7 - Principais áreas e equipamentos consumidores de água.....	39
Figura 8 - Distribuição da escala QI em relação as correntes mapeadas.....	40
Figura 9 – Pegada Hídrica .....	42

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Correntes envolvidas no processo de reconciliação e suas informações. ...	33
Tabela 2 – Distribuição da escala QI em relação a variação nas correntes medidas e reconciliadas.....	41
Tabela 3 – Indicadores ambientais da empresa. ....	41



## **LISTA DE SIGLAS**

ABIQUIM – Associação Brasileira de Indústrias Químicas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

BHR – Balanço hídrico reconciliado

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente

DEA – Departamento de Engenharia Ambiental

DEQ – Departamento de Engenharia Química

EC – Concentrado Emulsionável

ETE – Estação de tratamento de efluentes

EW – Emulsão de Óleo em Água

MBBR – Moving Bed Biofilm Reactors

MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos

OD – Dispersão de Óleo

P+L – Produção mais limpa

PH – Pegada hídrica

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SC – Suspensão Concentrada

SL – Concentrado Solúvel

TECLIM – Rede de Tecnologias Limpas

UFBA – Universidade Federal da Bahia

VC – Volume de controle

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
2.	OBJETIVOS .....	12
2.1.	Objetivo geral.....	12
2.2.	Objetivos específicos .....	12
3.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
3.1.	ISO 14001 .....	13
3.2.	Legislação pertinente .....	14
3.2.1.	Lei das águas.....	14
3.3.	Produção mais Limpa .....	16
3.4.	Uso racional da água em indústrias .....	17
3.5.	Indicadores ambientais.....	19
3.6.	Metodologia TECLIM .....	20
3.6.1.	Balanço hídrico reconciliado .....	21
3.6.2.	Aplicação da metodologia TECLIM.....	22
4.	METODOLOGIA .....	24
4.1.	Área de estudo.....	24
4.2.	Fontes hídricas e balanço hídrico.....	25
4.3.	Coleta de dados .....	28
4.4.	Qualidade da informação .....	29
4.5.	Balanço hídrico reconciliado .....	30
4.6.	Indicadores de Desempenho Ambiental .....	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
5.1.	Balanço hídrico reconciliado .....	33
5.2.	Indicadores de Desempenho Ambiental .....	41
5.3.	Proposição de melhorias para a gestão da água .....	43
6.	CONCLUSÃO .....	46
7.	REFERÊNCIAS.....	47
8.	ANEXOS .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto industrial, a água é um dos recursos mais importantes, sendo utilizada como parte da produção (matéria-prima, reagente, solvente), na transferência de massa (descontaminações, limpezas, diluição) e como troca de energia por transferência de calor (torres de resfriamento e caldeiras de aquecimento). Além disso, a água é muito utilizada no paisagismo, lazer, na produção de energia em hidroelétricas e termoelétricas, na pesca e na criação de animais aquáticos.

Embora a água seja um recurso abundante no planeta, o relatório anual do Fórum Econômico Mundial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2020) mostra que a disponibilidade de água vem desde 2012 sendo um dos cinco principais riscos globais de maior impacto. Devido à crise hídrica que vem acontecendo nos últimos anos, a água foi fator importante em conflitos de 45 países em 2017, com tendência de aumento, sendo que no ano de 2020 pelo menos um ¼ da população mundial foi afetado pela escassez de água.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2020), antes da década de 40 a utilização da água era predominantemente para uso humano, irrigação e dessedentação de animais.

Com o crescimento das cidades, aparecimento das indústrias, novos métodos de produção e o crescimento da economia, o uso da água e suas aplicações foram expandidos. Estima-se que houve um aumento de 80% no total retirado nas duas últimas décadas, e a previsão até 2030 é de um aumento de 24% na demanda (ANA, 2019). Esse crescimento contribui com o aumento do *stress* hídrico e a geração de conflitos de uso da água em todo o país, sendo as regiões Sudeste e Sul classificadas como as mais críticas em relação ao balanço hídrico. Ou seja, são as regiões que mais enfrentam problemas relativos à quantidade e qualidade de recursos hídricos disponíveis para o abastecimento da população, indústrias e irrigação de lavouras, dando destaque à região de Sorocaba no Estado de São Paulo classificado como Criticidade quali-quantitativa, isto é, possui um estado crítico em relação a água tanto nos quesitos quantitativos como qualitativos (ANA, 2019).

Em 2019, foram retirados aproximadamente 2.083 m<sup>3</sup>/s de água para o abastecimento no Brasil. Deste valor, a irrigação foi responsável por 49,8%, seguida pelo abastecimento urbano (24,3%), indústria (9,7%) e abastecimento animal (8,4%), sendo 1.125 m<sup>3</sup>/s consumidos e que não retornaram diretamente para os corpos hídricos. Apenas o uso industrial retirou cerca

de 202,3 m<sup>3</sup>/s e descartou diretamente nos corpos de água cerca de 47% deste valor (ANA, 2020).

Fatores prioritários para a escolha do uso da água, como seu valor econômico ser relativamente baixo se comparado com outros tipos de produtos e matérias-primas e sua disponibilidade ser abundante em algumas regiões, criam obstáculos para a implantação de melhorias na gestão dos recursos hídricos (WALSH; BRUTON; O’SULLIVAN, 2017).

A busca por uma melhor eficiência na utilização da água vem da grande demanda e a possibilidade da falta deste recurso. Dessa forma, o gerenciamento estratégico dos recursos hídricos é de suma importância para os setores produtivos. Ademais, é de fundamental importância que o governo formule políticas públicas que tragam segurança hídrica com qualidade e quantidade adequadas aos consumidores.

Paralelamente, é necessário que indústrias se posicionem e atuem de forma mais eficiente perante a gestão dos recursos hídricos, considerando que a falta destes acarreta no aumento do custo para se produzir e possivelmente na perda de operação e produção (KIPERSTOK *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar estrategicamente a gestão da água em uma indústria de agroquímicos, por meio da metodologia de balanço hídrico reconciliado.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Mapear e estudar todas as correntes líquidas, seus usos, consumo e geração de efluentes.
- Realizar o balanço hídrico reconciliado da indústria considerando todas as correntes líquidas de entrada e saída.
- Elaborar um diagrama de blocos com todas as correntes existentes.
- Propor indicadores ambientais que reflitam o estado atual de uso da água pela empresa.
- Propor medidas de melhorias para aumentar a confiabilidade e exatidão dos dados medidos, além de alternativas para diminuição do consumo baseadas na Produção mais Limpa.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

No âmbito da gestão ambiental, desenvolvimento sustentável e do ecoeficiente, se faz necessário seguir leis e normas para se obter apoio do governo e da sociedade e garantir às próximas gerações um meio ambiente com recursos e qualidade de vida digna. O sistema de gestão ambiental surge neste contexto para facilitar que empresas identifiquem, monitorem, e gerenciem suas questões ambientais. Fazem parte da gestão ambiental instrumentos, como a norma ISO 14.001, que auxiliam e orientam as empresas para uma melhor gestão ambiental e para a conformidade com a legislação vigente. O atendimento à legislação é uma área importante, pois abrange leis e normas específicas para cada ação que a empresa pode e/ou deve tomar, como outorgas que fazem a regulação da quantidade de água que é possível consumir, ou normas que criam metas de qualidade para o tratamento de efluentes antes de voltarem aos cursos d'água, além de programas de desenvolvimento sustentáveis.

Nos próximos tópicos, serão apresentados e explicados alguns exemplos destes componentes da gestão ambiental.

#### **3.1. ISO 14001**

A norma ISO 14001 foi criada pela Organização Internacional de Normalização (ISO) e inserida no Brasil pela da norma ABNT NBR ISO 14001. Esta norma define os requisitos para se criar um sistema de gestão ambiental (SGA), com o qual as empresas buscam um desenvolvimento mais sustentável por meio do uso do gerenciamento do uso dos recursos ambientais e a redução na geração de resíduos.

A norma não é obrigatória e as empresas podem seguir suas recomendações sem a necessidade de certificação. No entanto, a certificação por empresas independentes demonstra a disposição e competência da empresa no sentido de atingir os requisitos para um desenvolvimento sustentável (ABNT, 2015).

### 3.2. Legislação pertinente

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é um órgão brasileiro responsável por estabelecer normas e critérios para o funcionamento de atividades potencialmente poluidoras e padrões para o controle da qualidade do Meio Ambiente (CONAMA, 2021).

Entre as resoluções mais importantes do CONAMA em relação aos recursos hídricos estão a Resolução 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água; e a Resolução 430/2011, que substitui a Resolução 357/2005, sobre as condições e padrões dos efluentes para lançamento.

No estado de São Paulo, o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) juntamente com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) possuem a função de órgãos normativo e executor, respectivamente. Entre as leis mais importantes do estado, no que se refere ao consumo e utilização da água, pode-se citar: a Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016, que estabelece as diretrizes e critérios para a elaboração e o monitoramento do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) (SÃO PAULO, 2016); Lei nº 12.183, de 29 de dezembro de 2005, que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos, os procedimentos para fixação de limites, condicionantes e valores no domínio dos Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2005); Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991); Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências (SÃO PAULO, 1988).

#### 3.2.1. Lei das águas

A Lei 9.433 sancionada em janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e é umas das principais ferramentas atuantes nos dias de hoje para a preservação da água no Brasil e na gestão democrática dos recursos hídricos. Entre seus principais objetivos estão:

- I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

(BRASIL, 1997)

A PNRH estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal, possibilitando a identificação de conflitos pelo uso da água e estabelecendo como fundamento o respeito aos usos múltiplos e como prioridade o abastecimento humano e dessedentação animal durante períodos de escassez. São instrumentos desta lei: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Segundo a Lei 9.433, os Planos de Recursos Hídricos são planos de longo prazo, visando fundamentar e orientar a implantação da PNRH e o gerenciamento destes recursos. O enquadramento dos corpos de água em classes visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição hídrica, mediante ações preventivas permanentes, sendo as classes estabelecidas na legislação ambiental (BRASIL, 1997).

Em relação à outorga para o direito de uso dos recursos hídricos, ela pode ser descrita como uma autorização para a execução de qualquer atividade, sendo um empreendimento ou uso que possa alterar e/ou interferir na qualidade e quantidade dos recursos hídricos. O objetivo da outorga é assegurar a qualidade e quantidade dos usos da água e cumprir o direito de acesso a água para todos, isto é, preservar o uso múltiplo destes recursos.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos aparece com a função de reconhecer a água como um bem econômico e que possui valor, afim de incentivar o uso racional desta. Também possui como objetivo arrecadar recursos financeiros para o financiamento de programas incluídos nos planos de recursos hídricos.

O último instrumento da Lei das Águas é o Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos. Este possui a função de reunir e divulgar dados e informações sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos no país, afim de fornecer subsídios para construção de Planos de Recursos Hídricos.



### 3.3. Produção mais Limpa

A Produção mais Limpa (P+L) foi introduzida em 1989 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) como uma abordagem inovadora para a conservação e gestão do meio ambiente. Naquele primeiro momento, o objetivo do programa era a conscientização das indústrias e empresas para a produção menos degradante e a adoção deste tipo de produção. Nos dias de hoje, a P+L já é reconhecida como um programa de ganho mútuo entre empresa e ambiente (UNEP, 2004).

Segundo o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) do SENAI-RS (SENAI, 2003a), a P+L é a aplicação nos processos e produtos nas variáveis econômicas, ambientais e técnicas, a fim de ser ecoeficiente, isto é, eficiente no uso de matérias-primas e recursos como a água, energia e na não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, trazendo benefícios ambientais e econômicos para a empresa.

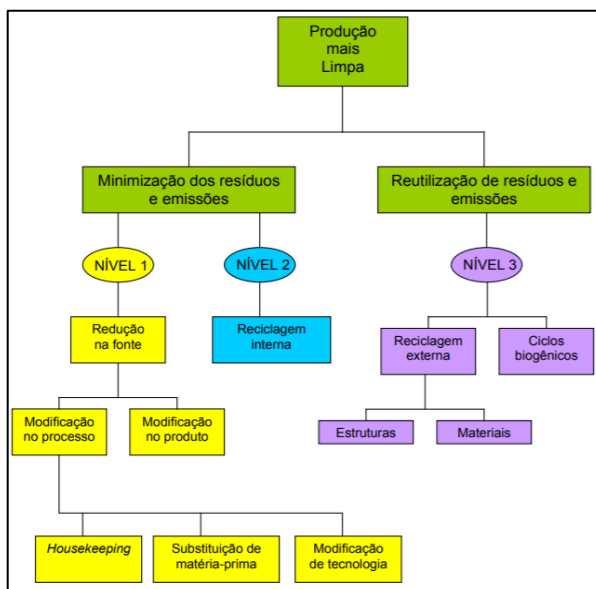
A utilização dos processos do P+L pelas empresas pode reduzir o uso de água, energia e matérias-primas, otimizando assim os processos e evitando o desperdício e a geração de resíduos (SENAI, 2003a). A P+L, diferentemente da técnica fim de tubo usualmente utilizada pelas indústrias com ações voltadas ao tratamento dos resíduos após sua geração, veio com a visão de evitar a geração destes resíduos. Com uma abordagem preventcionista, a P+L aborda a problemática dos resíduos em todos os processos da indústria, desde a geração até a destinação final. É dividida em 3 níveis, sendo o primeiro a redução dos resíduos na fonte pela modificação do produto e do processo, este subdividido em 3 fatores; o segundo nível sendo a reciclagem interna; e o terceiro nível a reciclagem externa e os ciclos biogênicos (Figura 1).

Em relação ao nível 1, o primeiro fator na mudança dos processos é o *housekeeping*, que de forma geral significa manter a organização física da empresa, a fim de diminuir desperdícios. O segundo fator é a substituição da matéria-prima, sem interferir negativamente na qualidade do produto final e possibilitando uma menor geração de resíduos, direta e indiretamente. E o terceiro fator é a modificação da tecnologia utilizada, pois, muitas vezes, empresas possuem equipamentos obsoletos e que consomem recursos de forma não eficiente.

Conforme mencionado, o segundo nível do P+L é a reciclagem interna, pois mesmo se aplicado o nível 1 na empresa, a geração de resíduos ainda ocorre. Logo, a reciclagem interna é a melhor opção antes da destinação dos resíduos produzidos. Via o tratamento de efluentes, as indústrias conseguem reciclar de forma eficiente a água já utilizada nos processos, reduzindo

assim a geração de efluentes descartados no meio ambiente e o consumo hídrico dos corpos de água (SENAI, 2003a).

Figura 1 - Escopo de atuação da metodologia P+L.



Fonte: SENAI, 2003a.

### 3.4. Uso racional da água em indústrias

Embora o custo para as empresas tratarem seus efluentes e buscarem novas formas de produção seja alto, muitas indústrias consideram a inclusão de políticas voltadas para gestão ambiental no seu dia-a-dia (MIERZWA 2002; WEBER 2010), devido aos benefícios e ganhos de competitividade e qualidade (PIO, 2008), além da obrigação de atendimento legal. A gestão ambiental relaciona ações de monitoramento, conformidade legal, busca por novas tecnologias mais eficientes, tratamento de efluentes, metas para diminuição do consumo de água e energia e metas para reciclagem e reúso.

A Rede de Recursos Hídricos da Indústria, criada em 2009 e coordenada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), dissemina boas práticas de uso sustentável da água, e em 2012, juntamente com a ANA, buscou mecanismos de incentivo para um uso mais eficiente da água no setor industrial brasileiro (CNI, 2012). Observa-se que a preocupação com a eficiência da utilização da água vem crescendo e ganha lugar de destaque nas estratégias competitivas. Nota-se que a preocupação está intimamente ligada às indústrias que fazem o uso mais intensivo do recurso, sobretudo em setores com investimentos e participação no mercado externo ou que estejam em locais já afetados pela escassez hídrica (CNI, 2012).

A indústria química é um dos setores com maior crescimento no mundo desde o século XX e um dos maiores consumidores de água (CNI, 2017b). No Brasil, as indústrias químicas, segundo a Associação Brasileira de Indústrias Químicas (ABIQUM), estão demonstrando maior preocupação com os recursos hídricos, aumentando suas estratégias de conservação e reúso destes (ABIQUM, 2007). Para adaptar-se ao cenário atual, o setor industrial optou por aprimorar os processos de produção e desenvolver sistemas de gestão ambiental mais eficientes a fim de atender as solicitações do mercado e instalar sistemas e normas direcionados à gestão da demanda de água e geração de resíduos (CNI, 2017b).

A conservação da água pode ser estruturada utilizando-se, segundo Gonçalves *et al.* (2009), cinco categorias estratégicas, elaboradas a partir dos conceitos básicos apresentados por Silva *et al.* (1999). Estas categorias são: uso eficiente das águas; aproveitamento de fontes alternativas; desenvolvimento e adequação tecnológica; gestão das águas nas edificações; e desenvolvimento do comportamento conservacionista.

O uso eficiente da água corresponde à menor quantidade de água possível para realizar determinado uso, levando em consideração a qualidade desta água. Nesta categoria pode-se citar como exemplos a redução do consumo em aparelhos sanitários, através da utilização de aparelhos econômicos, e a aplicação de metodologias para adequar o sistema local para um uso mais eficiente da água.

O aproveitamento de fontes alternativas, por sua vez, é a utilização de fontes de água que não são originárias dos sistemas públicos e privados de abastecimento, podendo-se citar as águas de precipitação pluvial e águas cinzas. São exemplos desta categoria o aproveitamento de água de chuva, para usos como limpeza de pisos e rega de jardins, e aproveitamento de águas cinzas.

Desenvolver e adequar as tecnologias é basicamente inovar visando a conservação da água. Essas ações são mais expressivas em pesquisas e programas voltados para este fim, como a criação de sistemas de tratamentos compactos. A gestão da água, por outro lado, atua de forma a conservar os recursos hídricos, garantindo o combate às perdas, desperdícios e aplicando técnicas e tecnologias efetivas. Como exemplo de gestão pode-se citar as verificações periódicas das tubulações e equipamentos e dos testes feitos para se garantir o perfeito funcionamento dos sistemas.

O desenvolvimento de um comportamento conservacionista, em relação ao consumo de água, pode ocorrer por meio de estímulos, nos quais a prática destes trazem benefícios pessoais ou corporativos. Os estímulos podem ser os mais diversos e vão depender de variáveis relativas

à situação atual da pessoa e/ou grupo de interesse, das ferramentas e recursos disponíveis. No geral, um dos estímulos mais efetivos é o de natureza financeira, causando uma mudança no comportamento das pessoas e organizações e proporcionando retorno positivo quanto à conservação dos recursos (GONÇALVES *et al.*, 2009).

### 3.5. Indicadores ambientais

A redução dos custos nos processos de produção é o que mais interessa para as empresas. No entanto, para o setor público e a sociedade que é afetada por aquela empresa, a qualidade ambiental torna-se mais relevante, principalmente se as ações da empresa impactam diretamente na qualidade de vida da população (SENAI, 2003b). A utilização de indicadores de desempenho ambiental é obrigatória para empresas que fazem uso da ISO 14001/2015, sendo uma ferramenta da gestão interna de avaliação do desempenho ambiental (ABNT, 2015).

Nesse contexto surgiram os indicadores ambientais, que tem como objetivo passar um grande volume de informações e muitas vezes de difícil compreensão de forma resumida e de fácil entendimento para a sociedade e poder público. Os indicadores ambientais são ferramentas presentes nos sistemas de gestão ambiental, e apresentam um grande volume de dados e informações de forma compacta em poucos números. Portanto, possibilitam uma maior facilidade de compreensão, demonstrando na forma de valores numéricos os impactos ambientais, como por exemplo, o consumo em relação à produção ou geração de bens (SENAI, 2003b; GASPARINE, 2003).

Tais indicadores impactam de forma relevante na tomada de decisões das empresas, pois são através deles que as empresas conseguem observar de forma quantitativa os resultados das metas estabelecidas e da implantação de P+L, possibilitando assim a tomada de novas decisões e criação de novas metas. Pode-se citar como exemplos de indicadores ambientais o efluente gerado por unidade de produto; o efluente gerado por água consumida; e a energia consumida por unidade de produto (SENAI, 2003b).

A pegada hídrica (PH) é um indicador que Hoekstra *et al.* (2011) definem como todo o volume de água doce utilizado direta ou indiretamente no processo produtivo, isto é, a PH do produto é o volume de água utilizado para produzir, seja ele incorporado ao produto, evaporado ou utilizado pelas pessoas. Tal indicador está cada vez mais sendo utilizado nas esferas empresariais e no meio científico, embora ainda existam poucos estudos sobre o tema no país (BLENINGER; KOTSUKA, 2017; VIANA, 2018).

### 3.6. Metodologia TECLIM

A Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM) foi criada em 1997 pelos Departamentos de Engenharia Química (DEQ) e Engenharia Ambiental (DEA) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Possui como objetivo a criação de uma maior interação entre a universidade, o governo e as empresas, gerando assim oportunidades de otimizar as atividades industriais através de grupos de trabalhos voltados para áreas de gestão ambiental de tecnologias mais limpas, sistemas de informação, otimização de processos, desenvolvimento de bioindicadores de toxicidade e treinamentos voltados para educação ambiental (KIPERSTOK, 2000).

Com a facilidade de comunicação e proximidade com grandes empresas da Região Metropolitana de Salvador, o TECLIM focou nas problemáticas e interesses destas. Ressalta-se, principalmente, as questões relacionadas ao consumo de água, devido a piora das crises hídricas da região e, com isso, a maior cobrança dos órgãos governamentais na diminuição do consumo de água pelas empresas (KIPERSTOK, 2008). A fim de solucionar estes problemas, o TECLIM criou uma metodologia para otimizar o uso da água nas atividades produtivas. Sendo baseada na P+L, ela busca mudar o entendimento sobre o uso eficiente da água na indústria em todos os níveis hierárquicos, gerando ideias e possibilidades de melhorias, permitindo assim minimizar o consumo e a geração de efluentes, além de se obter um melhor controle operacional (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

A metodologia ao longo dos anos foi utilizada em diferentes trabalhos (alguns serão citados no item 3.6.2 deste trabalho), com isso novas propostas e melhorias foram aplicadas à metodologia. Atualmente, ela é composta por 16 ferramentas, sendo algumas listadas abaixo:

1. Montagem do *ecotime*, com pessoas comprometidas, com formação multidisciplinar e experiências e habilidades complementares;
2. Construção de uma parceria entre universidade e indústria;
3. Inserção dos conceitos de P+L através da capacitação e em larga escala;
4. Utilização de ferramentas de acompanhamento de projetos: *MSPProject*, curva S, reuniões semanais de toda a equipe, reuniões trimestrais com a direção da empresa (*Project Management Office – PMO*);
5. Medição e conhecimento das vazões das correntes através de balanço hídrico com reconciliação de dados;
6. Desenvolvimento de modelos fenomenológicos ou empíricos para operações unitárias ou processos de tratamento, movimentação ou armazenamento de água;
7. Implementação de um banco de ideias (BI) que considera aspectos culturais, ambientais e econômicos na avaliação do potencial ou dificuldade para execução de uma oportunidade;
8. Implantação de um sistema de informações geográficas (SIG) georreferenciando as fontes produtoras e consumidoras de água dentro da empresa e no seu contexto regional;

9. Otimização a partir da aplicação de conceitos e instrumentos para a síntese de redes de transferência de massa;
  10. Análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional;
  11. Elaboração de projetos conceituais de minimização do uso da água e geração de efluentes;
  12. Auditoria de fontes de efluentes;
  13. Análise de desvios ambientais;
  14. Cálculo de indicadores ambientais e sua incerteza a partir de balanço de massa reconciliado;
- (OLIVEIRA *et al.*, 2016)

### 3.6.1. Balanço hídrico reconciliado

O balanço hídrico é uma ferramenta que tem como princípio o balanço de massa, elaborado a partir da coleta das entradas e saídas de água de um sistema durante determinado período (FREIRE, 2011). De modo geral, a soma de todas as correntes que entram em um determinado sistema deve ser igual a somatória das correntes de saída deste mesmo sistema.

O balanço hídrico, na maioria das vezes, possui um desvio de valor sendo diferente de zero, devido a inconsistências nos dados. Tais inconsistências tem origem na dificuldade das empresas em monitorar o consumo de água e de geração de efluentes, por falta de equipamentos como hidrômetros e da manutenção destes. Para contornar estas dificuldades, faz-se o uso do Balanço Hídrico Reconciliado (BHR).

O BHR, também conhecido como “ferramenta 5”, é umas das 16 ferramentas presentes na metodologia TECLIM – apresentada no item 3.6 –, sendo uma das mais utilizadas. Segundo Martins *et al.* (2010), o BHR é uma ferramenta de apoio à gestão ambiental voltada para a otimização ambiental de plantas industriais.

A metodologia de reconciliação de balanços de massa foi desenvolvida pelo método de matriz de projeção, criado por Crowe, Campos e Hrymak (1983), no qual as variáveis não medidas são excluídas e apenas as vazões medidas e redundantes são contabilizadas. É utilizada em processos em estado estacionário e lineares e pode ser representada matematicamente pelas Equações 1 e 2 (RIBEIRO, 2018).

$$\min \{f(q_r, q_m) = (q_m - q_r)^T \cdot (u_m^2)^{-1} \cdot (q_m - q_r)\} \quad (1)$$

$$\text{Restrição } g_l(q_r, q_m) = 0 \quad l = 1, 2, 3, \dots, L \quad (2)$$

Onde:  $q_r$  = Vazões reconciliada;  $q_m$  = Vazão medida;  $u_m^2$  = Matriz de covariância de  $q_m$ ;  $g_l$  = Vetor de restrição de conservação de massa;  $l$  = Equações envolvidas;  $L$  = Número de equações envolvidas;  $T$  = Matriz transposta;  $-1$  = Matriz inversa

A reconciliação de dados tem como objetivo aumentar a exatidão de medições via redução do efeito de erros nos dados. A sua metodologia é baseada na busca por novos valores de vazão que satisfaçam as equações de balanço de massa, por meio de técnicas de otimização matemática que minimizam a diferença entre os valores de vazão originais (ou medidos) e reconciliados (OLIVEIRA, 2011).

Essas técnicas levam em consideração o critério de Qualidade da Informação (QI) desenvolvido pelo TECLIM para auxiliar o BHR. Ao conhecer a origem dos dados de vazão, é atribuído um valor de QI para as fontes de informação que podem ser hidrômetros calibrados ou não, volumes conhecidos ou áreas. Este QI é proporcional à confiança atribuída à esta fonte, sendo inversamente proporcional à incerteza atribuída à fonte que está diretamente relacionada ao tipo de método de coleta de dados realizado (OLIVEIRA, 2011; RIBEIRO, 2018).

### 3.6.2. Aplicação da metodologia TECLIM

A metodologia TECLIM vem sendo utilizada em diversos trabalhos e aplicada à empresas de diferentes setores, não apenas em indústrias, podendo ser utilizada em aeroportos e prédios residenciais, comerciais e públicos (TECLIM, 2018). A seguir serão apresentados alguns trabalhos que utilizaram a metodologia TECLIM e seus respectivos resultados.

Ribeiro (2018) propõe uma melhoria para a metodologia TECLIM a fim de torná-la mais robusta, visando um melhor gerenciamento ambiental. A proposta foi avaliar o impacto das incertezas atribuídas à QI na avaliação das incertezas das vazões reconciliadas e a utilização destas vazões no cálculo de indicadores de desempenho ambiental. Por meio da utilização do indicador QI, que possibilita encontrar as correntes mais propensas às maiores discrepâncias, foi possível o fechamento do balanço hídrico da empresa que contava com 64% das correntes com pouca ou nenhuma confiança na fonte de informação. Possibilitou ainda a identificação dos principais equipamentos consumidores e das principais perdas hídricas, que constatou-se ser por evaporação. Com o uso da reconciliação e de indicadores, Ribeiro (2018) também concluiu que a avaliação da incerteza do indicador tem importância no momento de decisão das metas e ações para o gerenciamento hídrico.

Freire (2011) apresentou dados do projeto AGUAERO – Racionalização do uso da água no Aeroporto Internacional de Salvador (AIS)/BA –, que teve como objetivo avaliar o consumo de água no aeroporto e propor ações voltadas para a P+L, a fim de solucionar desperdícios de água no início do uso, e posteriormente focar em alternativas para o uso da água pós-consumo. A partir das informações encontradas, foi possível constatar que com manutenções, regulagens e alterações no *design* dos sanitários do aeroporto, seria possível a redução de até 77% no consumo de água. O estudo contribuiu para apoiar as ações para uma melhor gestão do consumo racional de água do aeroporto.

Guzzo (2017) avaliou estratégias de conservação de água em um edifício comercial de grande porte via reaproveitamento de correntes de água não potável, avaliando a disponibilidade das fontes não potáveis como água cinza tratada, água de chuva e água de condensação. Com a aplicação do BHR para redução dos erros incorporados pela diferença nos tipos de medição, observou-se pouca variação entre as vazões medidas e as reconciliadas. Por meio da utilização de indicadores calculados com as vazões reconciliadas, o estudo concluiu que o aproveitamento e reúso das águas não potáveis implicaria em uma economia anual de 46.281,33 m<sup>3</sup>, que corresponderia a 84% da demanda por água potável.

Souza *et al.* (2009), via utilização do BHR, buscaram melhorar o conhecimento dos fluxos de água em unidades industriais, possibilitando a tomada de decisões mais confiáveis em relação à utilização da água. Concluiu-se no trabalho que a utilização do BHR permite à empresa um conhecimento rápido e coerente das informações, além de evidenciar a possibilidade de melhorias e reconciliação em sistemas com dados que não possuem confiança.

Matos *et al.* (2010) otimizaram um sistema industrial a partir da utilização do BHR em uma estação de tratamento de água, utilizando-se do indicador QI como substituto das incertezas. A partir da reconciliação, verificou-se grandes discrepâncias entre os valores medidos e reconciliados, indicando que seria improvável que a empresa conhecesse o consumo de suas unidades com uma precisão menor que 5%. Descobriu-se a existência de vazamentos que totalizavam cerca de 70 m<sup>3</sup>/h e a possibilidade de reúso de cerca de 80 m<sup>3</sup>/h, que poderiam acarretar em até 150 m<sup>3</sup>/h de redução no consumo de água na unidade, que corresponderia, naquele momento, a 12% do volume de água captado na planta.



## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Área de estudo

A empresa em estudo é uma indústria fundada em 1965, criada por empresários japoneses que viram uma possibilidade de trazer as soluções e tecnologias em defensivos agrícolas de seu país de origem para o Brasil. Hoje a empresa possui sua planta industrial instalada no município de Sorocaba – SP, contando com mais de 600 colaboradores e possuindo em seu portfólio cerca de 60 produtos voltados para a agricultura, como fungicidas, inseticidas, herbicidas e produtos especiais voltados para a melhoria da colheita. Os produtos são divididos em 5 tipos, sendo eles: Concentrado Emulsionável (EC), Emulsão de Óleo em Água (EW), Concentrado Solúvel (SL), Dispersão de Óleo (OD), e Suspensão Concentrada (SC). Estes produtos utilizam água e outros solventes para serem fabricados. Recentemente, a atuação da empresa foi expandida para a produção de herbicidas, podendo chegar a mais de 9 mil toneladas de produção por mês, sendo a produção variável devido às épocas de safra no Brasil, podendo chegar a 2 mil toneladas por mês nos momentos de baixa produção.

Os processos de produção, em sua maior parte, são realizados a partir da mistura de matérias-primas que resultam no produto final, sendo os principais equipamentos envolvidos: trituradores, moedores, misturadores, caldeiras, torre de resfriamento e fornos. Na maior parte dos processos, a água entra como matéria-prima e também é utilizada como solvente para descontaminações e limpeza da planta, para que se possa começar um novo processo de produção ou a troca do produto a ser fabricado. A empresa ainda utiliza equipamentos para aquecimento de baixa eficiência, que é o caso dos banhos-maria, que são, de forma geral, grandes tanques abertos preenchidos com água aquecida por vapor da caldeira através das serpentinas que rodeiam o tanque. Esta água é utilizada para aquecer os tambores metálicos de matéria-prima que precisam ser aquecidos para entrar no processo produtivo.

A maior fonte de água da fábrica são os poços localizados dentro da área da empresa, de onde a água é bombeada para abastecer as caixas d'água e posteriormente as áreas produtivas. Faz-se necessário ainda, o abastecimento por água da companhia de abastecimento municipal para os pontos de consumo humano, como bebedouros, banheiros e cozinha.

Todo efluente gerado, seja industrial ou sanitário, possui uma destinação ambientalmente correta. Para os efluentes de origem industrial uma amostra é coletada para verificar se poderão ser tratados internamente. O teste é realizado de forma simplificada,

visando reproduzir em uma escala de bancada o tratamento que o efluente receberá nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) em escala real.

Após isso, se for possível o tratamento interno, o efluente é destinado à ETE própria da empresa, que utiliza reagentes químicos para a separação dos sólidos dissolvidos e sistemas de osmose reversa para retirar químicos e outros compostos ainda presentes na água. Após o tratamento dos efluentes industriais na ETE interna à empresa, o efluente é destinado para uso na geração de vapor na caldeira principal e de apenas uma das torres de resfriamento. O processo gera lodo e um efluente líquido concentrado oriundo do processo de osmose reversa, sendo o lodo destinado para coprocessamento e o efluente de osmose destinado para terceiros, para tratamento externo à empresa.

Caso não seja possível o tratamento interno, o efluente é enviado para empresas terceirizadas que utilizam o efluente no coprocessamento, por meio da mistura dos efluentes com outros resíduos visando torná-los mais energéticos (aumento do poder calorífico). Dessa forma, são utilizados em fornos como combustível e, posteriormente, suas cinzas são utilizadas como matéria-prima para a indústria do cimento.

No caso dos efluentes sanitários, estes são tratados integralmente na ETE interna, utilizando o sistema de *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR) e filtração em micromembranas. Após o tratamento, o efluente tratado é enviado para lagoas naturais que possuem ligação com cursos d'água da região.

#### 4.2. Fontes hídricas e balanço hídrico

A construção do balanço hídrico iniciou-se realizando a coleta de dados de vazão dos pontos consumidores de água (locais, equipamentos, ferramentas e usos), dos tipos de água utilizados (potável, reciclada, água fria, água quente) e dos dados de consumo e geração de efluentes líquidos na indústria.

A representação dos pontos consumidores e correntes aquosas foi feita na forma de diagrama de blocos. Para a construção deste é necessário a escolha de um volume de controle (VC), que é a delimitação de uma área, podendo conter todo o *site* industrial ou apenas unidades específicas (FREIRE, 2011). O VC foi escolhido com base nos fluxogramas dos processos, da localização das tubulações na empresa e da distribuição geográfica dos pontos consumidores e seus pontos de saída (caixas de contenção e fossas) (Figura 2). A partir do fluxograma,

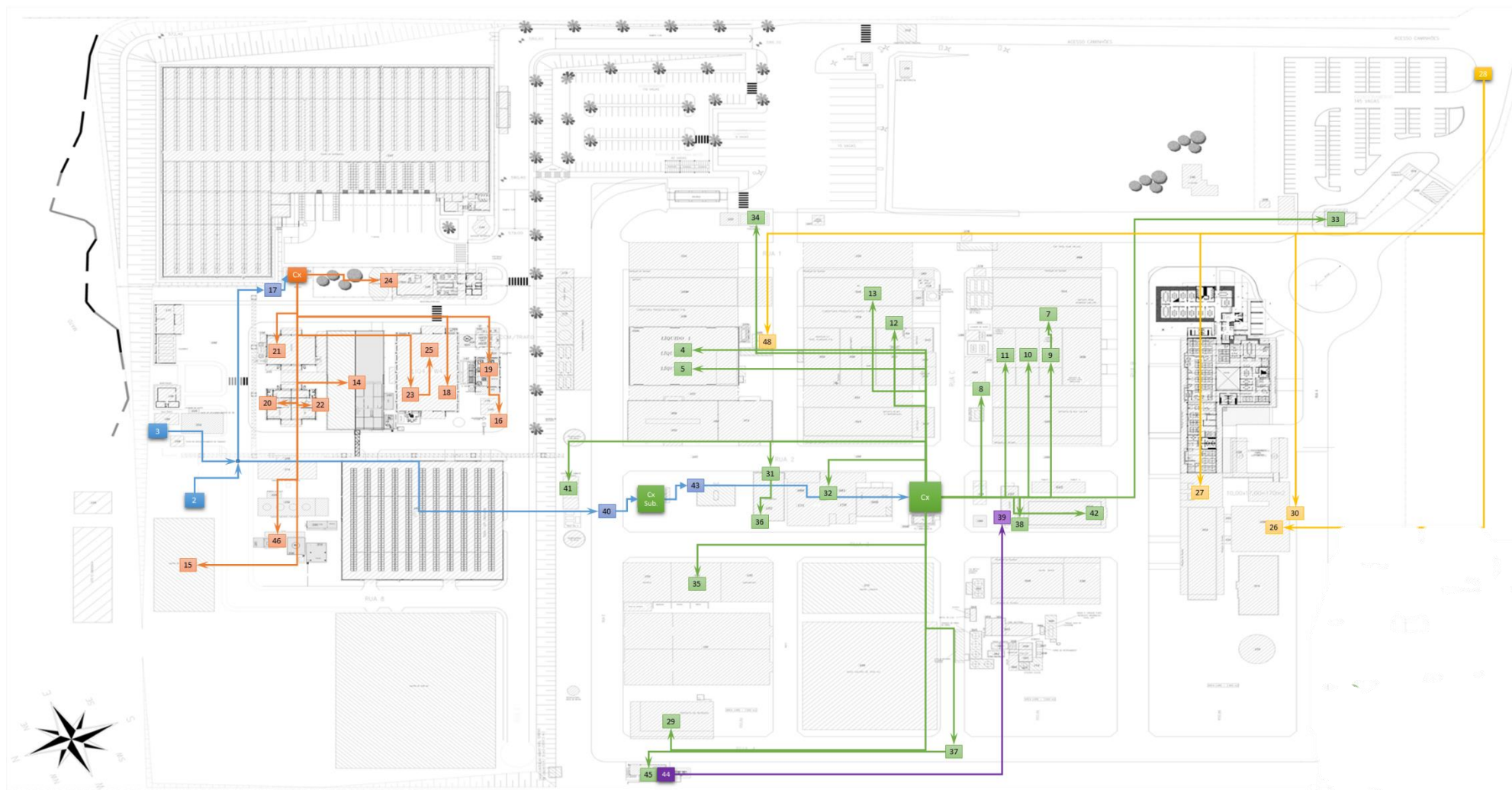
observou-se que a água utilizada é captada em dois poços situados dentro da área da empresa e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE).

A água bombeada dos poços é distribuída para as caixas de água em pontos distintos dentro da empresa e posteriormente distribuída para os pontos de consumo. A água distribuída pelo SAAE é armazenada em uma terceira caixa de água e fornece água para alguns prédios administrativos, para o restaurante principal e para os bebedores espalhados pela empresa, não tendo ligação com a água captada dos poços.

O VC escolhido contemplou todas as áreas administrativas (escritórios), locais produtivos (reatores, torres de resfriamento, caldeiras), banheiros, vestiários, lavanderias, galpões de armazenamento de resíduos, restaurantes, centro de distribuição, laboratórios e a ETE.

Para a construção do balanço hídrico é também necessária a determinação de um período de estudo representativo. A escolha deste período para análise dos dados foi realizada levando em consideração os momentos de maior produção da empresa (intimamente ligado com o maior consumo de água da empresa tanto nas correntes ligadas ao produto como nas ligadas ao uso potável e consumo humano), e as variações na produção durante os meses, devido à manutenções, limpezas, modificações nas plantas e instalação de novos equipamentos. O período mais representativo escolhido foi entre os meses de junho e outubro de 2020.

Figura 2 - Esquema simplificado dos hidrômetros fornecido pela empresa.



Fonte: Setor de Meio Ambiente da empresa (2020).

#### 4.3. Coleta de dados

A empresa faz o acompanhamento do consumo de água e geração de resíduos via documentos preenchidos de forma diária ou semanal. Os dados de vazões das correntes foram obtidos por meio destes documentos de acompanhamento já existentes feitos pela própria empresa através dos operadores e repassados para planilhas eletrônicas pelos analistas da área.

As correntes foram divididas em função do tipo e origem da água: oriunda de poço ou SAAE (potável); correntes de vapor; efluentes contaminados com resíduos químicos e que possuem tratamento na ETE da empresa (efluente industrial); águas coletadas de fossas sépticas (efluente sanitário); efluentes da indústria, mas que não se faz tratamento na ETE (coprocessamento); água aderida ao produto e subprodutos gerados no tratamento da ETE. Esta última pode ser separado em: lodos biológicos, lodos industriais, efluentes líquidos gerados no processo de osmose reversa, água tratada do sistema industrial (água reciclada ou efluente de reúso) e água tratada do sistema biológico, sendo cada uma dos tipos sendo medidas de forma distintas dentro da empresa.

As massas de lodo industrial geradas na ETE como resíduos foram consideradas nos cálculos de balanço mássico para ajustar os valores das correntes de efluentes industriais de forma que estas representem apenas a parte aquosa oriunda dos poços e SAAE. Isso foi necessário, pois a fração sólida dos efluentes é proveniente de matérias-primas adicionadas após a passagem das correntes de água potável pelos hidrômetros na entrada dos blocos. Estes sólidos representam cerca de 6% da massa de todo efluente industrial. No caso do efluente biológico, o lodo de saída representou apenas 1% da massa do efluente.

O volume captado dos poços, assim como a quantidade medida em cada hidrômetro, foi coletado de formulários próprios da empresa, preenchido todas as segundas e sextas-feiras. Este formulário apresenta os pontos na indústria onde cada hidrômetro fica localizado, as leituras feitas em metros cúbicos, o consumo final mensal de cada hidrômetro e a água utilizada, sendo apenas três tipos: água do poço, água reciclada e água de abastecimento SAAE.

As correntes de vapor não possuem ferramentas de medição, possuindo apenas os hidrômetros de entrada da caldeira como fontes de informação para a quantidade de vapor existente. Por ser um sistema fechado e estar em constante observação, considerou-se que a corrente de vapor é quantitativamente igual, em massa, à soma das correntes aquosas de abastecimento da caldeira. As perdas por vapor dos equipamentos de banho-maria foram calculadas pela diferença entre os valores de entrada e saída da planta onde estão instalados, uma vez que não possuem hidrômetros próprios.

As correntes com geração de efluentes sanitários e industriais foram coletadas em documento preenchido em todo início e fim da batelada da ETE, constando leitura do hidrômetro no início e fim, ponto gerador, tipo de efluente (sanitário ou industrial), turno responsável pelo tratamento e operador responsável.

Os dados para as outras correntes, sendo elas: coprocessamento, efluente do processo de osmose reversa e os lodos foram obtidos no documento Manifesto de Transporte de Resíduo (MTR), emitido em todas os momentos de transporte de resíduo. Deste documento foram extraídos os valores mássicos de cada uma destas correntes, os pontos de geração dentro da fábrica e os dias de coleta. Para a data de coleta, só se considerou o mês, devido às coletas não serem feitas necessariamente no mesmo dia em que o efluente foi gerado.

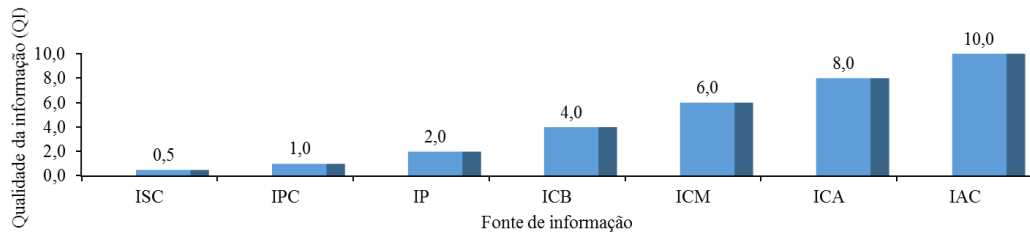
Todos os dados sobre água incorporada ao produto foram disponibilizados pela área da produção da empresa ao final de cada semana. Os dados foram coletados por engenheiros e operadores 24 horas por dia via transformação de volume em massa na proporção 1:1 com os valores dos hidrômetros das plantas. Isto é, cada 1 m<sup>3</sup> registrado no hidrômetro representaria 1 tonelada de água, sendo esta comparação feita para observar possíveis incoerências nas medições do hidrômetro ou da balança.

#### 4.4. Qualidade da informação

A escala de qualidade da informação (QI) foi construída em função dos tipos de ferramentas de monitoramento (hidrômetros, tempo de medição, calibração dos equipamentos) e a qualidade destas medições (operadores treinados e quantidade de coletas), de acordo com a escala QI proposta por Oliveira (2011). Devido à falta de leituras mais frequentes e de automatização na leitura dos hidrômetros e a utilização de equipamentos não confiáveis, os valores incorporam erros e incertezas, sendo as principais: transcrições incorretas devido a erro humano, incerteza do mensurado e incerteza dos equipamentos.

A Figura 3 representa a escala QI para a empresa, construída com a ajuda de operadores, técnicos e engenheiros da empresa. Os valores da escala variam entre 0,5 (o menor valor, atribuído as QI com as fontes de informação sem confiança e com o maior número de incertezas) e 10 (o maior valor, atribuído as correntes com a melhor fonte de informação e menores incertezas).

Figura 3 - Escala QI para empresa.



**Legenda:**

ISC (informação sem confiança): Estimativas grosseiras (exemplos: pesagem dos caminhões com efluentes, estimativa por área);

IPC (informação pouco confiável): Estimativas por vazões já conhecidas, volumes conhecidos;

IP (informação precária): Medição com instrumentos descalibrados;

ICB (informação de confiança baixa): Medições de operadores pouco experientes, medições uma vez na semana;

ICM (informação de confiança média): Medições de operadores experientes em equipamentos calibrados com coleta 2 vezes na semana;

ICA (informação com confiança alta): Medições em instrumentos calibrados e operadores experientes com coleta 1 vez ao dia;

IAC (informação altamente confiável): Medições em instrumentos calibrados de alta precisão com operadores experientes coletados no início e fim de cada processo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020), adaptado de Ribeiro (2018).

#### 4.5. Balanço hídrico reconciliado

De posse dos dados, pode-se trabalhar na construção de fluxogramas com as direções e sentidos das correntes de água, suas origens e destinos, além de distinguir as correntes por tipo de água e utilização. A partir dos fluxogramas, criou-se o diagrama de blocos em uma planilha eletrônica. Nele estão representados de forma macro as áreas, equipamentos, processos, fluxos e direção das correntes, assim como suas inter-relações. A escolha dos blocos levou em consideração as caixas de contenção, que são a ligação entre as correntes de entrada e saída. Nos casos da caldeira a vapor e da ETE, os blocos foram escolhidos devido sua importância e ligação com as demais correntes, e por não possuírem fossas para coleta de efluentes, seja pela caldeira não liberar efluentes líquidos ou pela ETE já realizar o tratamento do próprio efluente gerado. As correntes foram enumeradas de 1 a 98 e sinalizadas com as letras “E” para correntes de entradas, “S” para correntes de saída e “I” para correntes onde a vazão já foi contabilizada em outra corrente.

Para cada bloco, a diferença de entrada e saída foi calculada, conforme Equação 3 definida por Ribeiro (2018), de forma a verificar algum desequilíbrio entre entrada e saída de água.

$$\Delta d = q_{out} - q_{in} \quad (3)$$

Onde:  $\Delta d$  = diferença de vazão entre entrada e saída;  $q_{out}$  = vazão de saída;  $q_{in}$  = vazão de entrada.

Para os blocos onde surgiram diferenças significativas, foi feito um estudo mais aprofundado para a coleta dos dados faltosos. Deste estudo descobriu-se, por exemplo, os dados da evaporação dos “banhos-maria”, responsáveis pelo aquecimento de matéria-prima antes de serem utilizadas e de uma fossa sanitária sendo contabilizada como saída de efluente para outro bloco. As devidas correções dos dados na planilha foram feitas.

A reconciliação foi feita utilizando a formulação de Crowe (Equação 4) que possui o objetivo de minimizar o erro quadrático entre as vazões medidas e as vazões reconciliadas, com a adaptação feita por Martins *et al.* (2010) conforme Equação 5, possibilitando a utilização de todo tipo de informação mapeada por meio da utilização do QI. Ainda, levou-se como restrição a Equação 6 para o balanço de massa.

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(qri - qmi)^2}{\sigma^2} \quad (4)$$

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(qri - qmi)^2}{qmi^2} \times QIi^2 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N (qri_{in}) - \sum_{i=1}^N (qri_{out}) = 0 \quad (6)$$

Onde: min = mínimo; i = correntes; N = número de correntes envolvidas; qr = vazão reconciliada; qm = vazão medida;  $\sigma$  = incerteza da medição; QI = qualidade da informação; in = corrente de entrada; out = corrente de saída.

A realização da reconciliação de dados ocorreu com auxílio da ferramenta *Solver* do *software* Excel (versão 2016), conforme ilustrado na Figura 4. Mais informações sobre o método utilizado podem ser encontradas no suporte do Microsoft Excel.

Figura 4 - Planilha de reconciliação dos dados utilizando a ferramenta *solver*.

Corrente	Vazão Medida	QI	Resultado		SOLVER
			Vazão Reconciliada	$\frac{(qri - qmi)^2}{qmi^2} \times QIi^2$	
i <sub>1</sub>					$\min \sum_{i=1}^N \frac{(qri - qmi)^2}{qmi^2} \times QIi^2$
i <sub>2</sub>					
i <sub>3</sub>					
i <sub>4</sub>					
...					
in					

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



#### 4.6. Indicadores de Desempenho Ambiental

Foram calculados indicadores de desempenho para a empresa relacionando os dados das vazões reconciliadas com dados como toneladas produzidas no mesmo período, valor obtido de vendas e número de colaboradores.

Entre os principais indicadores estão o consumo de água por produção ou pegada hídrica (PH). Utilizou-se a Equação 7 para o cálculo da PH.

$$PH_{proc}[p] = \frac{\sum_{s=1}^n PH_{proc}[s]}{P[p]} \quad (7)$$

Onde:  $PH_{proc}[p]$  é a pega hídrica do produto,  $PH_{proc}[s]$  é a pegada hídrica do passo “s” e  $P[p]$  é a quantidade produzida de produto “p” (massa/tempo).

Além da PH, foram calculados indicadores como:

- Geração de efluentes por água captada;
- Água reciclada por efluente tratado;
- Água potável por funcionário por dia;
- Água captada por valor de vendas;

Todos os indicadores foram calculados usando as vazões já reconciliadas. Alguns destes indicadores foram utilizados para comparação com empresas do mesmo setor, além de uma possível utilização interna para melhorias na visualização do consumo e geração dentro da empresa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Balanço hídrico reconciliado

Na Tabela 1 observa-se todas as correntes que fazem parte do balanço hídrico da empresa, com seus respectivos dados de vazão medida (qm), vazão reconciliada (qr), a qualidade de informação (QI), os limites inferiores (LI) e superiores (LS) de vazão e a porcentagem (%) de variação entre os valores medidos e reconciliados ( $\Delta p$ ). É possível observar que as correntes com a maior variação de % foram as com baixos valores de QI, sendo as principais as correntes de coprocessamento e efluentes industriais.

No entanto, algumas correntes com valores elevados de QI também apresentaram uma diferença considerável. Neste caso, como são correntes com grandes vazões, como exemplo a corrente de entrada de água do SAAE (E89), conclui-se que existem correntes não medidas nestes pontos, vazamentos ou que hidrômetros possam estar em série, isto é, com o consumo duplicado já que a empresa conta apenas com mapas construídos a partir do conhecimento dos atuais engenheiros e operadores.

Das 98 correntes observadas (Anexo A1), algumas chegaram a ter variações de 30 a 40%, principalmente as de efluentes industriais. Estas foram as correntes que, embora não apresentaram os piores valores de QI, eram as mais propensas a mudanças, já que são as correntes principais de saída das áreas industriais, apresentando as maiores vazões, pois são originárias das limpezas dos reatores.

Pode-se observar também que nos blocos 7, 8 e 9 houve uma concentração de correntes com as maiores variações de vazão. O bloco 7 representa a área de manutenção da empresa com baixo uso de água e geração de efluentes contaminados com óleos. Portanto, as variações em % podem ser explicadas devido às vazões muito baixas. Por outro lado, as variações no bloco 8 podem ser explicadas pelo fato de a água que entra no bloco não sair necessariamente no mesmo período estudado, já que no local existe armazenamento dos efluentes gerados em contêineres. Além disso, a corrente de saída é oriunda da caixa de efluentes que é utilizada muitas vezes como uma caixa de recebimento de outras área. Dessa forma, os efluentes de setores diversos estavam armazenados em contêineres aguardando tratamento. O bloco 9 representa a ETE da empresa, e a principal variação de vazão foi em sua corrente com o pior valor de QI. Essa corrente representa o rejeito de osmose, cuja quantidade foi estimada a partir da diferença de pesos do caminhão na entrada e saída da empresa.

Tabela 1 – Correntes envolvidas no processo de reconciliação e suas informações  
(Continua).

Bloco	ID	Corrente	qm (t/h)	qr (t/h)	QI	$\Delta p$
1	I1	ÁGUA DO POÇO	2,63E-02	2,63E-02	8	0%
1	E2	ÁGUA DO POÇO	8,54E-02	8,54E-02	8	0%
1	E3	ÁGUA DO POÇO	3,34E-01	3,34E-01	8	0%
1	E4	ÁGUA DO POÇO	6,22E-02	6,22E-02	8	0%
1	E5	ÁGUA DO POÇO	2,91E-01	2,91E-01	8	0%
1	S6	COPROCESSAMENTO	1,65E-02	1,64E-02	0,5	0%
1	S7	ÁGUA NO PRODUTO	5,07E-01	5,07E-01	8	0%
1	S8	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,46E-01	1,46E-01	2	0%
1	S9	VAPOR	1,07E-01	1,04E-01	0,5	-3%
2	E10	ÁGUA DO POÇO	9,72E-04	9,72E-04	4	0%
2	E11	ÁGUA DO POÇO	5,06E-02	5,06E-02	4	0%
2	S12	ÁGUA NO PRODUTO	1,39E-06	1,39E-06	2	0%
2	S13	ÁGUA NO PRODUTO	1,39E-06	1,39E-06	2	0%
2	S14	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,72E-03	4,72E-03	1	0%
2	S15	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,39E-07	1,39E-07	2	0%
2	S16	VAPOR	4,68E-02	4,68E-02	0,5	0%
3	E17	ÁGUA DO POÇO	1,67E-03	1,64E-03	8	-2%
3	E18	ÁGUA DO POÇO	2,59E-01	2,59E-01	8	0%
3	S19	COPROCESSAMENTO	3,30E-02	3,32E-02	0,5	1%
3	S20	ÁGUA NO PRODUTO	1,61E-01	1,61E-01	8	0%
3	S21	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,39E-07	1,81E-07	2	30%
3	S22	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,25E-03	4,36E-03	2	2%
3	S23	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,33E-02	1,34E-02	4	0%
3	S24	VAPOR	4,78E-02	4,87E-02	0,5	2%
4	E25	ÁGUA DO POÇO	1,61E-01	1,61E-01	6	0%
4	E26	ÁGUA DO POÇO	3,15E-01	3,15E-01	6	0%
4	E27	ÁGUA DO POÇO	1,76E-01	1,76E-01	6	0%
4	S28	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,06E-02	1,06E-02	2	0%
4	S29	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,44E-01	1,43E-01	2	-1%
4	S30	EFLUENTE BIOLÓGICO	3,44E-01	3,43E-01	4	0%
4	S96	VAPOR	1,53E-01	1,38E-01	0,5	-10%
4	S97	ÁGUA DO POÇO	1,78E-02	1,78E-02	2	0%
5	E31	ÁGUA DO POÇO	6,05E-02	6,03E-02	6	0%
5	S32	EFLUENTE INDUSTRIAL	2,79E-02	2,91E-02	1	4%
5	S33	EFLUENTE BIOLÓGICO	3,12E-02	3,13E-02	4	0%
6	E34	ÁGUA SAAE	4,75E-01	4,74E-01	8	0%
6	E35	ÁGUA SAAE	2,57E-01	2,57E-01	8	0%
6	E36	ÁGUA SAAE	6,56E-02	6,56E-02	8	0%
6	E37	ÁGUA SAAE	1,03E-01	1,03E-01	6	0%
6	E38	ÁGUA SAAE	1,60E-02	1,60E-02	4	0%
6	S39	EFLUENTE BIOLÓGICO	6,56E-02	6,57E-02	4	0%

Tabela 2 – Correntes envolvidas no processo de reconciliação e suas informações  
(Continua).

Bloco	ID	Corrente	qm (t/h)	qr (t/h)	QI	$\Delta p$
6	S40	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,03E-01	1,03E-01	4	0%
6	S41	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,75E-02	1,75E-02	4	0%
6	S42	EFLUENTE BIOLÓGICO	6,74E-01	6,77E-01	4	0%
6	S98	ÁGUA DO POÇO	5,30E-02	5,31E-02	2	0%
7	E43	ÁGUA DO POÇO	6,45E-04	6,50E-04	2	1%
7	E44	ÁGUA DO POÇO	1,97E-02	2,10E-02	4	6%
7	S45	EFLUENTE INDUSTRIAL	6,39E-03	5,86E-03	2	-8%
7	S46	EFLUENTE INDUSTRIAL	8,89E-03	7,87E-03	2	-11%
7	S47	EFLUENTE INDUSTRIAL	3,89E-03	3,69E-03	2	-5%
7	S48	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,44E-03	4,19E-03	2	-6%
8	E49	ÁGUA DO POÇO	1,51E-02	1,93E-02	2	28%
8	S50	EFLUENTE INDUSTRIAL	2,76E-02	1,93E-02	2	-30%
9	I51	ÁGUA DO POÇO	2,02E-01	1,89E-01	4	-6%
9	S52	ÁGUA RECICLADA	2,03E-01	1,98E-01	6	-3%
9	E53	ÁGUA DO POÇO	1,89E-01	1,89E-01	8	0%
9	S54	REJEITO DA OSMOSE	4,17E-01	4,20E-01	1	1%
9	S55	EFLUENTE INDUSTRIAL	7,59E-02	7,59E-02	2	0%
9	E90	EFLUENTE INDUSTRIAL TOTAL	5,37E-01	4,90E-01	2	-9%
9	E91	EFLUENTE BIOLÓGICO TOTAL	1,54E+00	1,54E+00	4	0%
9	S93	ÁGUA RECICLADA	1,52E+00	1,53E+00	0,5	1%
10	E56	ÁGUA DO POÇO	3,60E-01	3,54E-01	8	-2%
10	S57	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,55E-02	1,16E-02	4	-25%
10	I58	ÁGUA DO POÇO	5,96E-01	5,92E-01	6	-1%
10	E59	ÁGUA DO POÇO	2,56E-01	2,55E-01	6	0%
10	E60	ÁGUA DO POÇO	1,16E+00	1,16E+00	6	0%
10	E61	ÁGUA DO POÇO	1,39E-07	1,39E-07	6	0%
10	E62	ÁGUA DO POÇO	1,55E+00	1,54E+00	6	-1%
10	E63	ÁGUA DO POÇO	3,04E-03	3,35E-03	8	10%
10	E64	ÁGUA DO POÇO	4,34E-01	4,35E-01	6	0%
10	I65	ÁGUA DO POÇO	2,34E-02	2,32E-02	6	-1%
10	E66	ÁGUA DO POÇO	3,72E-01	3,72E-01	6	0%
10	S67	COPROCESSAMENTO	3,21E-03	1,93E-03	0,5	-40%
10	S68	COPROCESSAMENTO	7,86E-01	6,00E-01	0,5	-24%
10	S69	ÁGUA NO PRODUTO	2,49E+00	2,54E+00	6	2%
10	S70	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,56E-02	1,09E-02	2	-30%
10	S71	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,02E-02	7,11E-03	2	-30%
10	S72	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,18E-07	1,18E-07	2	0%
10	S73	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,18E-07	1,18E-07	2	0%
10	S74	EFLUENTE INDUSTRIAL	7,78E-03	5,44E-03	2	-30%
10	S75	VAPOR	1,44E-01	1,18E-01	0,5	-18%
10	S92	COPROCESSAMENTO	5,85E-02	3,51E-02	0,5	-40%

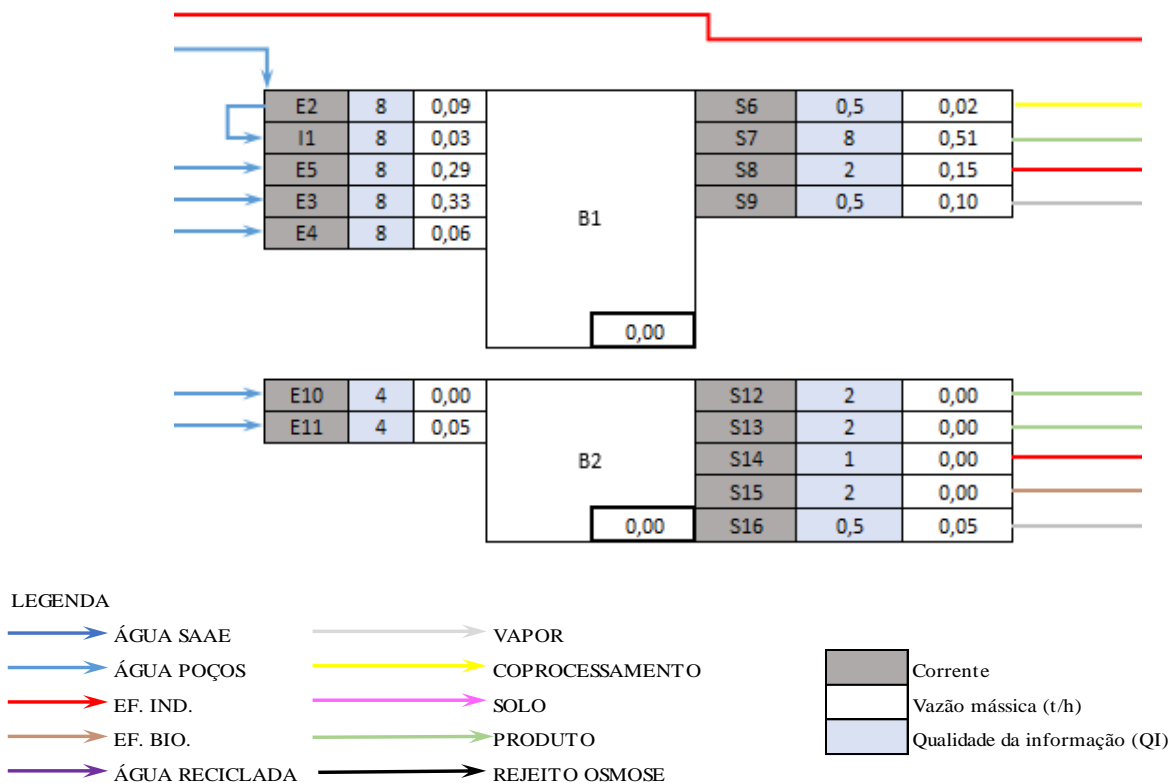
Tabela 3 – Correntes envolvidas no processo de reconciliação e suas informações (Conclusão).

Bloco	ID	Corrente	qm (t/h)	qr (t/h)	QI	$\Delta p$
10	S94	VAPOR	5,96E-01	4,52E-01	0,5	-24%
10	S95	VAPOR	3,72E-01	3,42E-01	0,5	-8%
11	E76	ÁGUA DO POÇO	4,03E-01	4,05E-01	6	1%
11	S77	EFLUENTE BIOLÓGICO	2,80E-01	2,79E-01	4	0%
11	S78	ÁGUA DO POÇO	1,26E-01	1,26E-01	0,5	0%
12	E79	ÁGUA DO POÇO	1,25E-01	1,22E-01	8	-2%
12	E80	ÁGUA REICLADA	8,39E-02	8,27E-02	8	-1%
12	S81	VAPOR	1,99E-01	2,05E-01	4	3%
A	I82	ÁGUA DO POÇO	4,34E+00	4,53E+00	6	4%
A	I83	ÁGUA SAAE	7,68E-01	9,16E-01	4	19%
A	I84	ÁGUA DO POÇO	2,37E+00	2,15E+00	6	-9%
A	I85	ÁGUA DO POÇO	2,35E+00	2,15E+00	6	-8%
A	S86	EFLUENTE INDUSTRIAL	8,00E-03	8,00E-03	2	0%
A	E87	ÁGUA DO POÇO	7,88E-01	7,89E-01	8	0%
A	E88	ÁGUA DO POÇO	6,02E+00	5,90E+00	10	-2%
A	E89	ÁGUA SAAE	7,77E-01	9,16E-01	6	18%

\* A coluna “ID” representa a identificação das correntes, sendo a letra utilizada para indicar: I = interna do bloco, E = entrada do bloco e S = saída do bloco.

A Figura 5 ilustra uma visão parcial do diagrama de blocos (Anexo A1), onde os blocos representam áreas que englobam diversos equipamentos e na maior parte diversos processos. As correntes de água de poços, água reciclada, água da SAAE, efluentes sanitários, efluentes industriais, vapor de água e coprocessamento são representados por setas contínuas, sendo diferenciada por cores para representar cada tipo de corrente. Ao lado de cada bloco estão os códigos de identificação das correntes e seus respectivos valores de QI e vazão mássica. No interior dos blocos se encontra o saldo do balanço hídrico. Por exemplo, podemos observar no bloco 1 (B1) a corrente de saída S7, que é uma corrente de saída de água incorporada no produto, possui um QI igual a 8 e uma vazão reconciliada de 0,51 t/h.

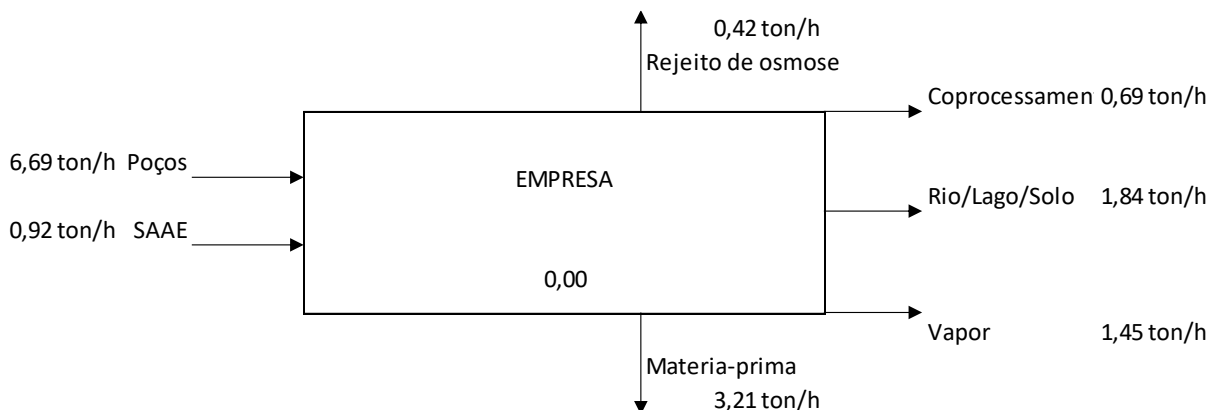
Figura 5 - Exemplificação parcial do diagrama do balanço hídrico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os parâmetros de entrada da reconciliação foram compostos pelas 98 correntes principais (1 a 98), representadas com detalhes no Anexo A1. Via reconciliação de dados permitiu-se que a diferença global do balanço hídrico absoluto, de 0,471 t/h, fosse anulada (Figura 6), assim como todos os balanços de cada bloco da empresa. Essa diferença foi originada principalmente dos processos de limpeza industrial, processos de resfriamento em torres e nos equipamentos de banho-maria.

Figura 6 - Representação macro do BHR.



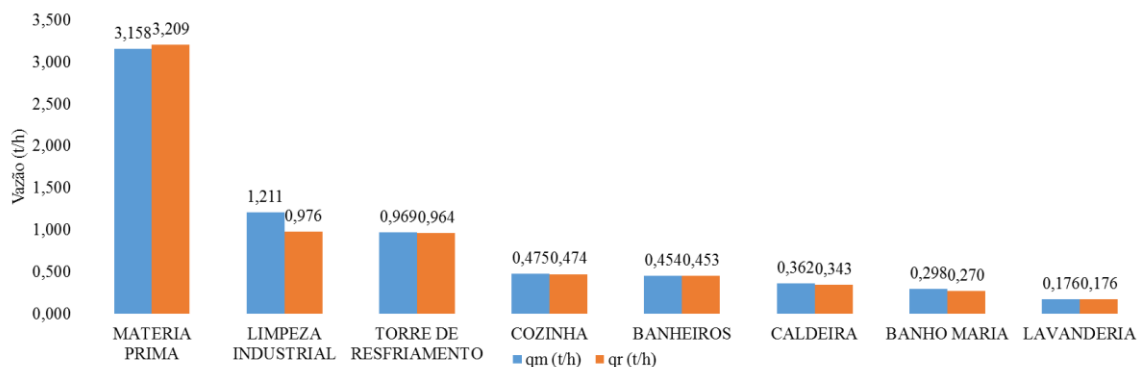
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 7 exibe as principais áreas e equipamentos consumidores de água dentro da empresa que foram passíveis de quantificação. Entre os equipamentos, as torres de resfriamento tiveram o maior consumo, cerca de 0,964 t/h. Em seguida, foram as caldeiras, sendo responsáveis por um consumo de 0,343 t/h e os equipamentos de banho-maria com um consumo de 0,270 t/h. As torres de resfriamento são equipamentos conhecidos pelo grande consumo de água, cuja função é a troca de calor de correntes internas dos processos com a água, que ao receber o calor evapora para a atmosfera. Equipamentos de banho-maria também possuem elevada perda de água, já que a água está presente em temperaturas altas para o aquecimento da matéria-prima. Além disso, são equipamento abertos ao ambiente e perdem água na forma de vapor. O grande consumo pela caldeira é explicado por este equipamento possuir uma limitação na recirculação do vapor, após o aquecimento dos banhos-maria. Dessa forma, o vapor é liberado para a atmosfera, fazendo com que o consumo seja elevado.

Pode-se observar que o maior consumidor de água na empresa advém da utilização deste recurso para incorporação nos produtos (3,209 t/h), seguido da limpeza dos reatores da linha de produção (0,976 t/h). As áreas da cozinha e dos banheiros ficaram em, respectivamente, 4º e 5º lugares no *ranking* dos maiores consumidores. A cozinha utiliza água para além da preparação dos alimentos, por exemplo em usos que vão desde a limpeza do local (que foi intensificada no período da pandemia), até o consumo de água utilizada para beber. Era esperado um consumo considerável nos banheiros pois, ao final de turno, todos os funcionários da produção tomam

banho para não ocorrer contaminação destes e de seus familiares por substâncias que são utilizadas na empresa, além também de outros usos para higiene pessoal.

Figura 7 - Principais áreas e equipamentos consumidores de água.



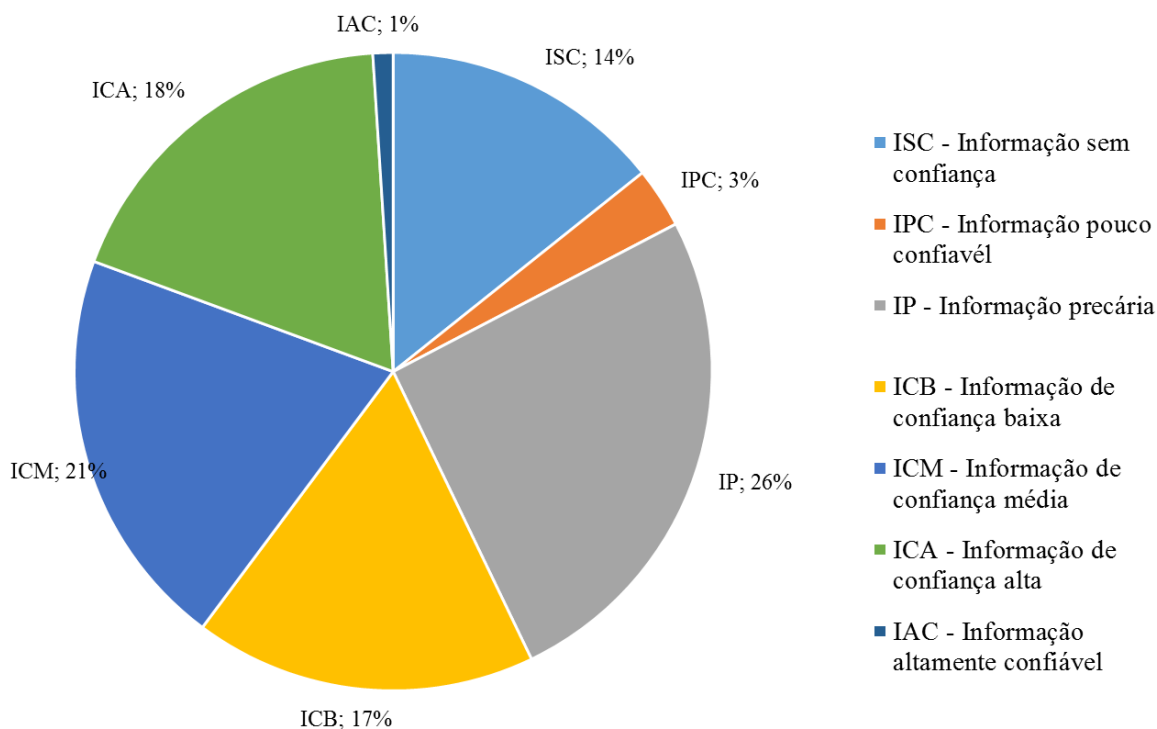
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A utilização do BHR, assim como nos estudos de Freire (2011), Guzzo (2017) e Souza *et al.* (2009), teve como resultado a visualização mais rápida e coerente dos fluxos de consumo hídrico e pontos críticos, tanto como os de maior consumo de água e mais problemáticos, quanto a existência de vazamentos. Além disso, contribui com a possibilidade de promover melhorias via utilização de dados que possuem uma confiabilidade maior do que os dados medidos, possibilitando dentre outras ações, a diminuição de consumo e reutilização de efluentes.

A Figura 8 exibe a escala QI em relação ao número de correntes mapeadas. A partir dela, é possível observar que mais da metade das correntes acompanhadas possuíram informações de baixa ou nenhuma confiança, assim como Ribeiro (2018). Com isso, demonstrase que o conceito QI é importante para a reconciliação, já que leva em conta que estes dados pouco confiáveis são os principais dados a serem modificados.



Figura 8 - Distribuição da escala QI em relação as correntes mapeadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As correntes classificadas como ISC na escala QI, ou seja, as sem confiança alguma, foram correntes cujas medições foram feitas através de estimativas da diferença entre outras correntes, como foi o caso das correntes de vapor, referentes as saídas das torres de resfriamento (S94 e S95) e dos banhos-maria (S9, S24 e S75). As correntes de coprocessamento também tiveram a pior classificação por serem medidas em balanças rodoviárias e por não se conhecer a composição aproximada destas correntes com alta contaminação de sólidos da produção. Além disso, a não realização de teste de densidade para se ter um valor mais aproximado do volume de água que realmente é incorporada ao resíduo e é contabilizada na saída pode ser destacado como um fator limitante.

A Tabela 2 apresenta o número de correntes com variação percentual ( $\Delta p$ ) entre as vazões medidas e reconciliadas maiores e menores que 2%, separadas em relação a escala QI. A escolha do valor de 2% foi pelo fato deste ser o erro aceito nas correntes mais confiáveis (IAC), sendo a variação entre as correntes medidas e reconciliadas comparadas a este erro máximo. Pode-se observar que entre as correntes com a QI mais baixa, mais da metade obteve valores acima de 2%, mostrando que estas correntes realmente apresentam diferenças entre os valores reais e os medidos. Porém, deve-se dar ênfase ao grupo de correntes com QI de

informação precária (IP), já que estas também apresentaram mais da metade das correntes com variações acima dos 2%, o que pode significar que estas correntes apresentam uma informação ainda menos confiável.

Tabela 2 – Distribuição da escala QI em relação a variação nas correntes medidas e reconciliadas

Qualidade de Informação (QI)	$\Delta p < 2\%$	$\Delta p \geq 2\%$
ISC	6	8
IPC	2	1
IP	12	13
ICB	13	4
ICM	18	2
ICA	14	4
IAC	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>32</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

## 5.2. Indicadores de Desempenho Ambiental

Na Tabela 3 podemos observar os valores encontrados para os indicadores calculados. O indicador que se mostrou mais relevante foi o de água consumida por produto, ou a PH da empresa, com um valor 0,62 m<sup>3</sup>/(t.mês), indicando que para cada 0,62 metros cúbicos de água consumida na empresa é produzida 1 tonelada de produto. Embora seja um valor alto, grande parte dos produtos da empresa fabricados utilizam água como matéria-prima ou no processo produtivo. Outro indicador de destaque foi o efluente gerado por água consumida (0,36), que pode ser entendido como 0,36 m<sup>3</sup> de efluente gerado para cada 1 m<sup>3</sup> de água captada (água coletada dos poços mais a água da SAAE), ou seja, 36% da água consumida é descartada em forma de efluente.

Tabela 3– Indicadores ambientais da empresa

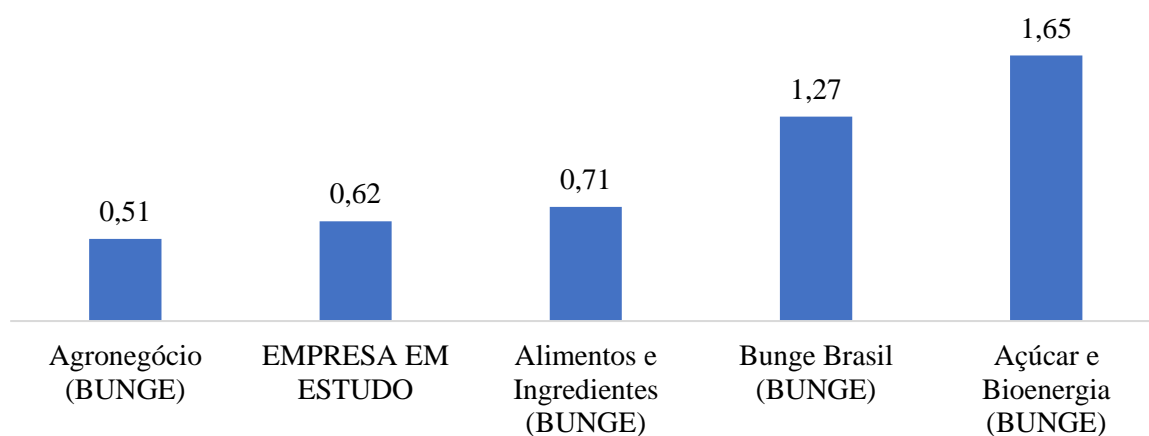
Indicador	Valor	Unidade
PH	0,62	m <sup>3</sup> /t.mês
Efluente gerado / Água captada	0,36	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .mês
Água reciclada/ Efluente tratado	0,13	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .mês
Água potável / N° de colaboradores	1,61	m <sup>3</sup> /colaborador
Litros água captada / R\$	0,03	litros/R\$.mês

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A partir de um estudo feito nas indústrias químicas Brasileiras no ano de 2015, a PH média era de 4,81 m<sup>3</sup>/t, sendo para 2020 uma projeção de diminuição deste valor, chegando a cerca de 2,7 m<sup>3</sup>/t (ABIQUIM, 2016). O valor encontrado para este indicador foi de 0,62 m<sup>3</sup>/t, cerca de 77% menor que o encontrado para indústrias do setor químico brasileiro. Em setores agroindustriais podemos observar que existe uma grande diferença entre o PH se comparado ao calculado para uma indústria química, visto que estes são setores onde o uso de água é essencial durante todo o período de crescimento, seja dos animais ou das plantas cultivadas. Nesses setores, a PH pode chegar a 16.000 m<sup>3</sup>/t, no caso do couro bovino e 3.400 m<sup>3</sup>/t para o arroz (HOEKSTRA, 2011; SILVA, 2013). Em setores como o têxtil, segundo Allègre *et al.* (2006), utiliza-se cerca de 70 e 150 litros de água para 1 kg de peça seca durante o processo de beneficiamento, ou seja, a PH varia entre 70 e 150 m<sup>3</sup>/t de peça produzida.

Empresas como a Bunge, que trabalham com o setor de alimentos, agronegócio e bioenergia, apresentam valores mais próximo aos encontrados (Figura 9). Conforme descrito no Relatório de Sustentabilidade da Bunge (BUNGE, 2016), a PH foi de 1,65 m<sup>3</sup>/t na produção de açúcar e bioenergia, neste caso não contabilizando o consumo de água para se produzir a cana-de-açúcar, levando em conta apenas a produção de açúcar e combustível; 0,71 no setor de alimentos e 1,27 como média de PH em toda a rede no Brasil (BUNGE 2016).

Figura 9 – Pegada Hídrica comparação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), adaptado de BUNGE (2016).

Em relação ao indicador de razão entre o uso de água potável e o número de colaboradores, o valor encontrado foi de 1,61 m<sup>3</sup>/colaborador, cerca de 53,66 L/(colaborador.dia), abaixo dos valores encontrados na literatura de consumo de água no Brasil, que variam entre 87 a 165 L/(hab.dia) (ANA, 2019).

### 5.3. Proposição de melhorias para a gestão da água

Pelo conhecimento adquirido durante a realização deste trabalho e pelos resultados obtidos, foi possível observar oportunidades de melhorias para a empresa, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental. As melhorias têm como propósito levantar soluções que a empresa possa utilizar, gerando assim retorno econômico, ambiental e social, como também uma melhora na imagem da mesma. A empresa já conta com algumas técnicas de redução de consumo e geração de efluentes, mas ainda existem oportunidades para otimizar estes e incluir novas práticas mais sustentáveis. Algumas sugestões de melhoria estão citadas abaixo, seguindo o conceito da P+L de técnicas preventivas:

- ❖ Troca e atualização de equipamentos hidrossanitários de uso comum:

Equipamentos hidrossanitários, como torneiras com temporizadores, arejadores para a cozinha e os banheiros e descargas já acopladas nos vasos sanitários, são itens já utilizados na empresa. É necessário, desse modo, apenas o acompanhamento para a prevenção de vazamentos e melhoria contínua dos equipamentos, que vão se tornando obsoletos e pouco eficientes ao longo do tempo, incluindo também a manutenção e a troca de bebedouros por modelos mais novos e eficientes.

- ❖ Reúso do efluente tratado:

O efluente após o tratamento, também chamado de água reciclada no presente estudo, pode ser reutilizado antes da destinação final no ambiente. Dessa forma, recomenda-se verificar a possibilidade de reutilizar o efluente tratado em processos como torres de resfriamento, trocadores de calor, banhos-maria, limpeza das áreas, jardinagem e outros, considerando suas limitações de qualidade. Atualmente a empresa já utiliza desta água reciclada na caldeira principal, e possui projeto para alimentar pelo menos uma das torres de resfriamento. Também propõe-se avaliar a qualidade da água resultante do tratamento do efluente sanitário para um possível reúso para fins não potáveis, como lavagens de veículos e irrigação dos jardins, devido à grande quantidade de efluente gerada na empresa e de ser 100% tratada *in loco* através da ETE interna. Com a possibilidade de utilização tanto da água gerada no tratamento de efluente sanitário como o industrial, seria viável também verificar, juntamente com as áreas de

qualidade, a utilização desta água reciclada nos processos de fabricação, sendo possível uma redução de cerca de 1,53 t/h de água originadas do tratamento dos efluentes sanitários.

Outra possibilidade, que necessita de investimentos, seria o tratamento de 100% do efluente gerado na empresa, zerando o envio de efluentes para coprocessamento e aumentando consideravelmente a água reciclada gerada.

❖ **Manutenção de equipamentos:**

Realizar manutenções mais rigorosas e preventivas em equipamentos consumidores de água. Torres de resfriamento, caldeiras e banhos-maria, que consomem grandes quantidades de água, dificultando a percepção de vazamentos. Adicionalmente, é necessário a manutenção das tubulações que fazem a distribuição tanto nas áreas industriais como nas áreas administrativas, já que nesses locais as tubulações são internas às estruturas, tornando a visualização de vazamentos mais difícil se comparado com as áreas produtivas, onde as tubulações são aparentes nas áreas externas dos prédios.

❖ **Troca de equipamentos de produção:**

Verificar a possibilidade de diminuição na quantidade de água utilizada nos processos de fabricação sem alterar a qualidade do produto final, através de troca de equipamentos por modelos mais eficientes, gerando menores perdas de material durante a fabricação nos reatores, já que relata-se a ocorrência de grandes incrustações de material nas paredes destes. Ressalta-se também a utilização de equipamentos de limpeza automatizados ou mais eficientes, que fazem a limpeza dos reatores com maior precisão e com uma menor utilização de água. A limpeza de reatores é responsável por utilizar cerca de 0,9 toneladas de água por hora, o que representa 13% do uso de água da empresa.

❖ **Água da chuva:**

Aproveitar a água da chuva para compor o abastecimento da planta, considerando que a empresa conta com grandes áreas para coleta. No entanto, faz-se necessária a realização de estudos para a viabilização técnica e econômica.

❖ Campanhas de educação ambiental:

Campanhas voltadas para o consumo consciente de todos os funcionários, tornando isso parte da cultura da empresa, podendo trazer melhorias em outras áreas de consumo de recursos, levando a uma diminuição do desperdício de alimentos e da utilização de energia elétrica.

❖ Hidrômetros:

Realizar a troca e instalação de hidrômetros em locais onde não existe medição ou em locais em que os valores de QI encontrados neste trabalho foram baixos, a fim de verificar o consumo mais próximo do real. Pontos como as torres de resfriamento e banhos-maria, onde o consumo de água é contabilizado no mesmo hidrômetro utilizado para mensurar o consumo de outros equipamentos, são também locais de possível instalação de novos hidrômetros. Dessa forma, será possível verificar o consumo real dos equipamentos, não sendo necessário o uso de estimativas. Verificar a possibilidade de conectar os hidrômetros a rede de computadores, automatizando e acelerando o processo de leitura, possibilitando que a análise dos dados seja mais eficiente, devido a possibilidade de leitura de dados de consumo e geração hídrica em tempo real. Além disso, outra recomendação é a construção de um mapa com a posição de todos os equipamentos e localização das tubulações, evitando medições duplicadas e facilitando a manutenção pelo conhecimento prévio da posição destes. Outra melhoria a se pensar é o uso de equipamentos para medição no momento de saída dos contêineres contendo efluentes industriais para coprocessamento, já que atualmente estes são contabilizados somente a partir dos dados de medição da balança apresentados no manifesto de transporte.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi utilizada a ferramenta de BHR da metodologia TECLIM para visualização do cenário do consumo de água e geração de efluentes da empresa de forma mais próxima ao real. Foi possível observar que, mesmo contando com equipamentos de medição, diversas correntes ainda são medidas com precariedade e baixa precisão, tornando ineficiente a gestão atual da água na empresa.

Foi possível mapear todas as correntes líquidas da empresa, totalizando 98 correntes, juntamente com seus usos e vazões. Por meio destas correntes e o uso da metodologia TECLIM foi realizado o balanço hídrico reconciliado da empresa química e elaborado um diagrama de blocos, facilitando a visualização dos resultados. A reconciliação de dados permitiu que a diferença global do balanço hídrico absoluto, de 0,471 t/h, fosse anulada, assim como todos os balanços de cada bloco da empresa. Essa diferença foi originada principalmente dos processos de limpeza industrial, água utilizada no produto e dos equipamentos de banho maria. Dentre as atividades, o maior consumidor de água na empresa advém da utilização deste recurso para incorporação nos produtos, seguido da limpeza dos reatores da linha de produção. A partir resultados do BHR foram propostos indicadores para controle e comparação da empresa e melhorias levando a P+L em consideração, que englobam principalmente a ampliação do reúso do efluente tratado e hidrometração das correntes de consumo.

## 7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas.** - Brasília: ANA, 2019. 75 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual** // Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2020. 118 p.

ALLÈGRE, C.; MOULIN, P.; MAISSEU, M.; CHARBIT, F. 2006. TREATMENT AND REUSE OF REACTIVE DYEING EFFLUENTS. JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE, V. 269, P. 15-34.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Relatório de atuação responsável 2008.** São Paulo. v. 4, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Relatório dos Indicadores de Desempenho da Atuação Responsável.** São Paulo. V. 12, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001: Principais benefícios.** São Paulo: ABNT, 2015. 12 p.

BLNINGER, T.; KOTSUKA, L. K. 2015. **Conceitos de Água Virtual e Pegada Hídrica: Estudo de Caso da Soja e Óleo de Soja no Brasil.** Recursos Hídricos, v. 36, n. 1, p. 15-24.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Brasília**, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 07 jan. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A química como criadora de soluções para o desenvolvimento sustentável.** / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Química. – Brasília: CNI, 2017a. 110 p..

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Avanços da Indústria Brasileira rumo ao desenvolvimento sustentável: síntese dos fascículos setoriais.** Brasília: CNI, 2012. 51 p..

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **O uso racional da água no setor industrial.** / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. – 2. ed. --Brasília: CNI, 2017b. 236 p.: il.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. O que é o Conama?. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA.(Brasil). Resolução no 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União.** 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 23 jan 2021.



CROWE, C. M.; CAMPOS, Y. A. G.; HRYMAK, A. Reconciliation of process flow rates by Matrix Projection. Part I: linear case. **AIChE Journal**, v. 29, n. 6, p. 881–888, 1983.

FREIRE, M. T. M. **O consumo racional de água no Aeroporto Internacional de Salvador, Bahia/Brasil**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GASPARINI, L. V. L. **Análise das inter-relações de indicadores econômicos, ambientais e sociais para o desenvolvimento sustentável**. 2003. 221 f. Dissertação – Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, R. F. *et al.* **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009 352p. (ISBN: 978-85-7022-161-2)

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALADAYA, M. M. 2011. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica** – Estabelecendo o Padrão Global. Water Footprint Network, 216p.

KIPERSTOK, A. Implementation of cleaner production practices with the support of a diploma course. **Journal of Cleaner Production**, Salvador, Bahia., v. 8, n. 5, p. 375–379, 2000.

KIPERSTOK, A. O papel da universidade e da Rede TECLIM na introdução das práticas de Produção Limpa na Bahia. In: KIPERSTOK, A. (Org.). **Prata da Casa: construindo Produção Limpa na Bahia**. 1a ed. Salvador: TECLIM/UFBA, 2008. p. 19–42.

KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K.; KALID, R.; SALES, E.; OLIVEIRA, G. **Rationalizing the use of water in industry – Part 1**: Summary of the instruments developed by the Clean Technology Network in the State of Bahia and main results obtained. *Journal of Environmental Protection*, v. 4, p. 486–496, 2013.

MARTINS, M. A. F.; AMARO, C. A.; SOUZA, L. S.; KALID, R. A.; KIPERSTOK, A. **New objective function for data reconciliation in water balance from industrial processes**. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 12, p. 1184–1189, 2010.

MATOS, F. F.; MEDEIROS, F. F.; KIPERSTOK, A.; KALID, R.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. Minimização do uso de água na indústria através da ferramenta digital balanço hídrico. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1, 2010, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: COBESA, 2010. 5 p.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da Kodak Brasileira**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2002. doi:10.11606/T.3.2002.tde-14112002-203535. Acesso em: 2021-05-07.

OLIVEIRA, G. L.; KIPERSTOK, A.; KALID, R. A.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. S.; SALES, E. A. **Metodologia TECLIM para uso racional de água na indústria**: o banco de ideias no contexto da metodologia Front-End Loading. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 753–764, 2016.

OLIVEIRA, Geiza Lima de et al . Metodologia TECLIM para uso racional de água na indústria: o banco de ideias no contexto da metodologia front-end loading. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 21, n. 4, p. 753-764, dez. 2016. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522016000400753&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000400753&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 24 mar. 2021.

OLIVEIRA, Geiza. Lima de.. **A metodologia TECLIM para uso racional da água na indústria**: Uma proposta de sistematização. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

PIO, A. A. B. **Tecnologias e metodologias disponíveis e o dimensionamento do papel público-privado para a boa aplicação da gestão ambiental na indústria**. Seminário Internacional de Meio Ambiente, Indústria e Sustentabilidade, X. SIMAI, 14 nov. São Paulo, 2008.

REDE DE TECNOLOGIAS LIMPAS – TECLIM. **Projetos concluídos**. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/projetos\\_concluidos.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/projetos_concluidos.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2020.

RELÁTÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2016 [DA] BUNGE. São Paulo: Bunge, 2003- . Disponível em: <https://www.bunge.com.br/sustentabilidade/2016/eficiencia-operacional/gestao-de-agua.html>. Acesso em: 25 mar. 2021.

RIBEIRO, C. F. **Contribuição à robustez da metodologia TECLIM para melhor gerenciamento hídrico**: Estudo de caso em uma planta de metanol. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 12.183, de 29 de dezembro de 2005. **Diário Oficial - Executivo**, 30/12/2005, p.4. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/legislacaoderecursosohidricos#:~:text=12.183%2C%20DE%2029%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202005%20%2D%20Disp%C3%B5e%20sobre%20a,valor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016. **Diário Oficial - Executivo**, 15/12/2016, p.1. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/legislacaoderecursosohidricos#:~:text=12.183%2C%20DE%2029%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202005%20%2D%20Disp%C3%B5e%20sobre%20a,valor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988. **Diário Oficial - Executivo**, 03/06/1988, p.1. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/legislacaoderecursosohidricos#:~:text=12.183%2C%20DE%2029%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202005%20%2D%20Disp%C3%B5e%20sobre%20a,valor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Diário Oficial - Executivo**, 31/12/1991, p.2. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/legislacaoderecursosohidricos#:~:text=12.183%2C%20DE%2029%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202005%20%2D%20Disp%C3%B5e%20sobre%20a,valor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SENAIRS. **Indicadores Ambientais e de Processo**. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003b. 103p. il. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

SENAIRS. **Questões ambientais e Produção mais Limpa**. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003a. 126 p. il. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

SILVA, R.T.; CONEJO, J.G.L. & GONÇALVES, O.M. **Apresentação do Programa**. Brasília, Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Documento DTA A1, 1999.

SILVA, Vicente de P. R. da et al.. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande , v. 17, n. 1, p. 100-105, Jan. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662013000100014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100014&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 18 Mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>.

SOUZA, L. S.; BRAGA, B. V. D.; KIPERSTOK, A.; KALID, R. A.; SALES, E. A. Balanço hídrico: uma ferramenta para gestão industrial e otimização ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: ABES, 2009. 8 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Guidance Manual: How to establish and operate Cleaner Production Centres**. Vienna: UNIDO, UNEP, 2004.

VIANA, M. A.; Lira, E. B. de S.; Coelho, C. de P. G.; Bezerra, A. P. X. de G.; Lorena, E. M. G.; Holanda, R. M. de. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. Recife-PE, v. 03, nº 01, pág. 061 – 068, Jan. 2018

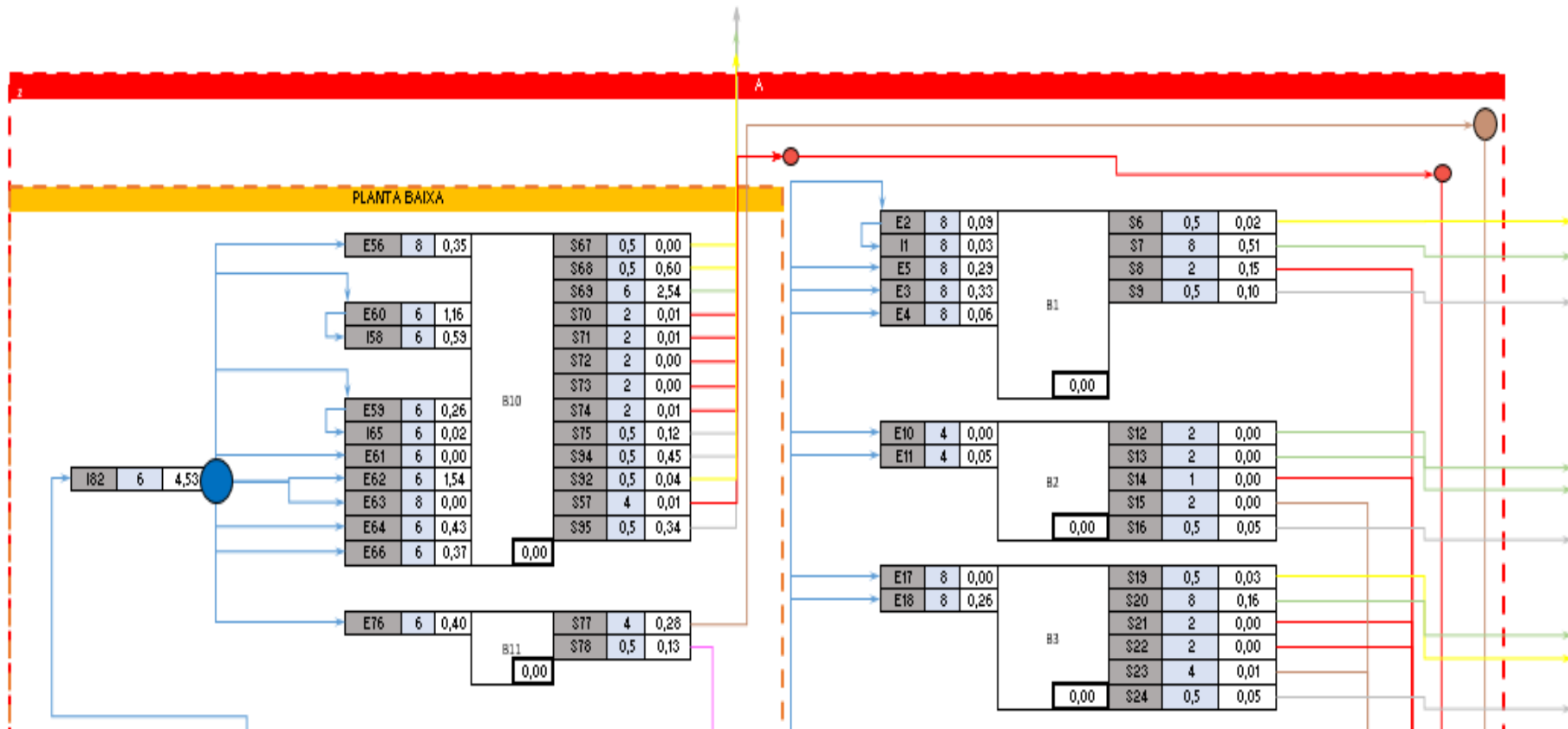
WALSH, B. P.; BRUTON, K.; O’SULLIVAN, D. T. J. **The true value of water: a case-study in manufacturing process water-management**. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 551–567, 2017.

WEBER, Cristiano Corrêa; CYBIS, Luiz Fernando; BEAL, Lademir Luiz. **Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado**. Rio de Janeiro , v. 15, n. 3, p. 291-300, Sept. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522010000300013&lng=e&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522010000300013&lng=e&nrm=iso)>. Access on 07 May 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000300013>.

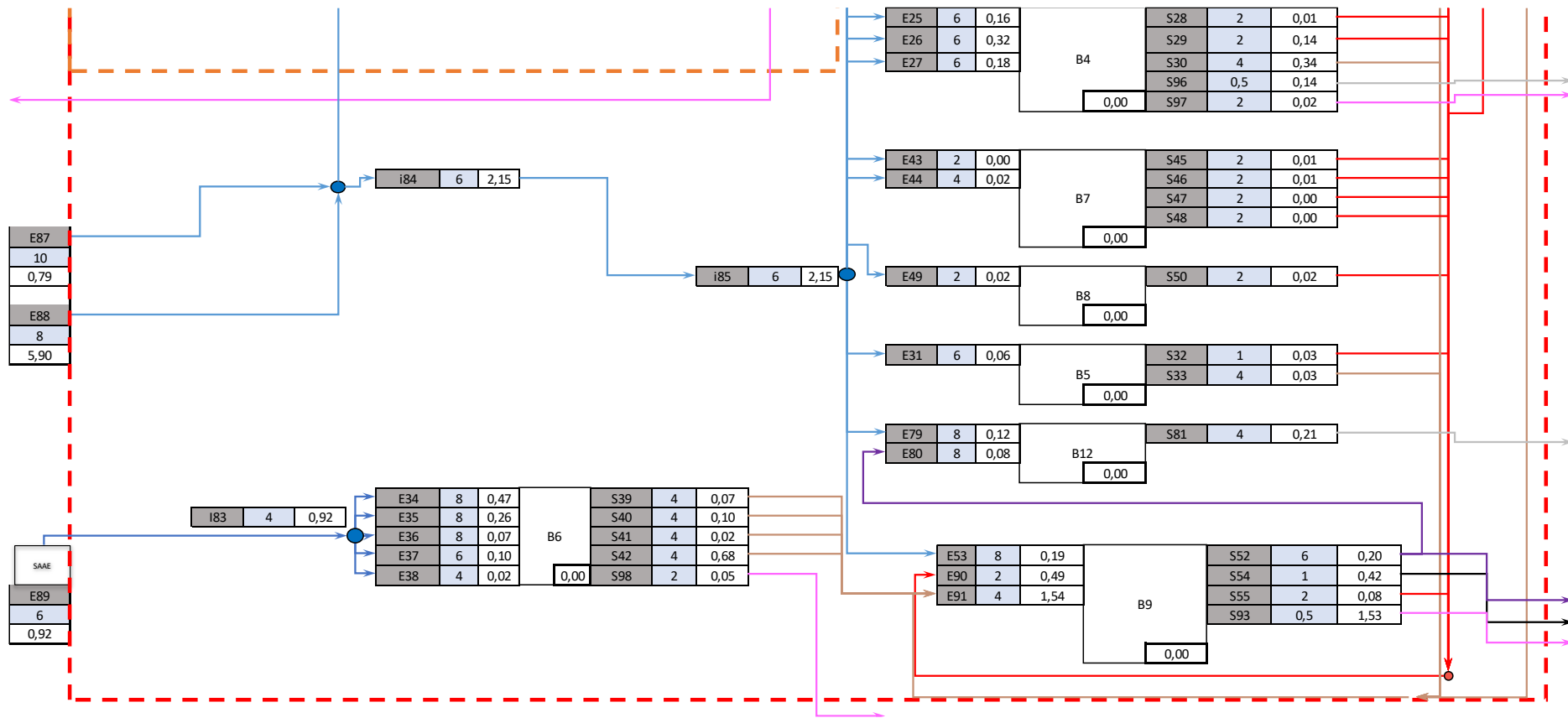
WORLD ECONOMIC FORUM – WEF. **The Global Risks Report 2020**. 15th Edition. Geneva: WEF, 2020.

## 8. ANEXOS

### A1. Ilustração das 98 correntes principais consideradas no BHR (continua)



### A1. Ilustração das 98 correntes principais consideradas no BHR (continua)



## A1. Ilustração das 98 correntes principais consideradas no BHR (conclusão)

### LEGENDA

→ ÁGUA SAAE	→ VAPOR
→ ÁGUA POÇOS	→ COPROCESSAMENTO
→ EF. IND.	→ SOLO
→ EF. BIO.	→ PRODUTO
→ ÁGUA RECICLADA	→ REJEITO OSMOSE

Corrente
Vazão mássica (t/h)
Qualidade da informação (QI)

→

Bloco	Identificação	Bloco	Identificação	Bloco	Identificação	Bloco	Identificação
1	Planta industrial	4	Administrativo 3	7	Manutenção	10	Planta industrial
2	Planta industrial	5	Laboratorio	8	Galpão de resíduos	11	Administrativo 2
3	Planta industrial	6	Administrativo 1	9	ETE	12	Caldeira
						A	Área total