

# Análise de viabilidade técnica da conservação de água no ciclo produtivo de indústria de refrigerante

*Technical feasibility analysis of water conservation in the refrigerant industry production cycle*

• **Data de entrada:**  
25/06/2019


• **Data de aprovação:**  
26/10/2021


Bruno José Costa da Cunha<sup>1\*</sup> | Luiza Carla Girard Teixeira<sup>1</sup> | Neyson Martins Mendonça<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.078>

## ORCID ID

Cunha BJC  <https://orcid.org/0000-0002-5716-2874>

Teixeira LCG  <https://orcid.org/0000-0002-0204-6825>

Mendonça NM  <https://orcid.org/0000-0003-2084-3294>

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo desenvolver protocolo de engenharia contendo os procedimentos técnicos necessários para otimizar o consumo de água em indústrias de bebidas, mediante a avaliação do potencial de conservação da água, determinação de indicadores de desempenho ambiental e econômico, a proposição de cenários de uso água e, por fim, analisar a viabilidade técnica da implantação oportunidades de reúso e reaproveitamento de efluentes identificadas. Nos cenários propostos, foi possível reduzir o consumo específico de água de 2,53 para 1,92 m<sup>3</sup><sub>água</sub>/m<sup>3</sup><sub>refrigerantes\*</sub>, o que gerou 24,1% de economia no consumo água. Ao final do trabalho, chegou-se à conclusão de que o protocolo de engenharia estabelecido neste trabalho, para avaliar a conservação do uso da água em fábrica de refrigerantes, mostrou-se adequado para o levantamento de informações e otimização do uso da água numa planta industrial, bem como para a análise da viabilidade técnica.

**Palavras-chave:** Protocolo de engenharia. Conservação da água. Cenários do uso da água.

## Abstract

*This work aimed to develop an engineering protocol containing the technical procedures necessary to optimize water consumption in beverage industries, through the evaluation of water conservation potential, determination of environmental and economic performance indicators, the proposition of water use scenarios and, finally, analyze the technical feasibility of implementing reuse opportunities and reuse of identified effluents. In the proposed scenarios, it was possible to reduce the specific water consumption from 2.53 to 1.92 m<sup>3</sup>water/m<sup>3</sup>refrigerantes, which generated 24.1% savings in water consumption. At the end of the work, it was concluded that the engineering protocol established in this work, to evaluate the conservation of water use in a soft drink factory, proved to be adequate for the collection of information and optimization of water use in an industrial plant, as well as for the analysis of technical feasibility.*

**Keywords:** Engineering protocol. Water conservation. Water use scenarios.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará - Belém - Pará - Brasil.

\* **Autor correspondente:** [brunno.jose@hotmail.com](mailto:brunno.jose@hotmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

A água é utilizada na maioria das indústrias para uma ampla gama de aplicações. Processos e sistemas que usam água, atualmente, estão sendo submetidos a regulamentos ambientais cada vez mais rigorosos sobre o lançamento de efluentes e a demanda crescente de água doce. Essas mudanças aumentaram a necessidade do gerenciamento de água visando à minimização de águas residuais (HSINE et al., 2010). De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, os setores que mais demandam água no mundo são agricultura, pecuária, industrial, energético e abastecimento urbano. Dentre estes, o setor industrial corresponde a 19% da retirada de água doce no mundo, com potenciais impactos na qualidade da água (UNESCO 2016, apud FAO 2014).

A indústria de bebida, por exemplo, requer grandes quantidades de água potável. De acordo com o BNDES (2016), no Brasil, estima-se que, aproximadamente, 26,3 milhões de metros cúbicos de água são utilizados anualmente na produção de refrigerantes, o que gera consideráveis volumes de águas residuárias durante diferentes processos, tais como: produção da bebida, lavagem das garrafas, lavagem da área de trabalho e dos pisos (FATAH et al., 2009). Difante & Silva (2007) mencionam que o consumo de água da indústria de bebidas não alcoólicas no mundo é de 2,54 litros de água por litro de bebida produzida; no entanto, existem fábricas brasileiras em que o índice está próximo de 1,5 litro de água por litro produzido (ABIR, 2017).

De acordo com Kasmi et al. (2016), indústrias de bebidas não alcoólicas, como bebidas gaseificadas e sucos, produzem 0,5 L de esgoto para cada 2 L de água consumido no processo de fabricação das bebidas. Estima-se que, aproximadamente, 50% do esgoto gerado durante a produção da bebida vem da lavagem das garra-

fas (HAROON, WASEEM & MAHOOD, 2013). Em um estudo realizado em uma fábrica de refrigerantes em Bangkok, Haydar et al. (2015) concluíram que aproximadamente 75,7% da água utilizada na produção de bebidas não alcoólicas torna-se esgoto.

Uma das formas aplicáveis para a redução no consumo da água e geração de efluentes no setor industrial é o reaproveitamento e o reúso dos recursos hídricos dentro do processo produtivo. Neste sentido, a combinação do gerenciamento dos recursos hídricos na linha de produção e o conceito de produção limpa, ou seja, sem o desperdício de água, têm resultado em benefícios tanto econômicos quanto ambiental (HAROON, WASEEM & MAHOOD, 2013). Cook et al. (2014) defendem que 37% da demanda não potável seja atendida pela água de chuva coletada em edifícios comerciais.

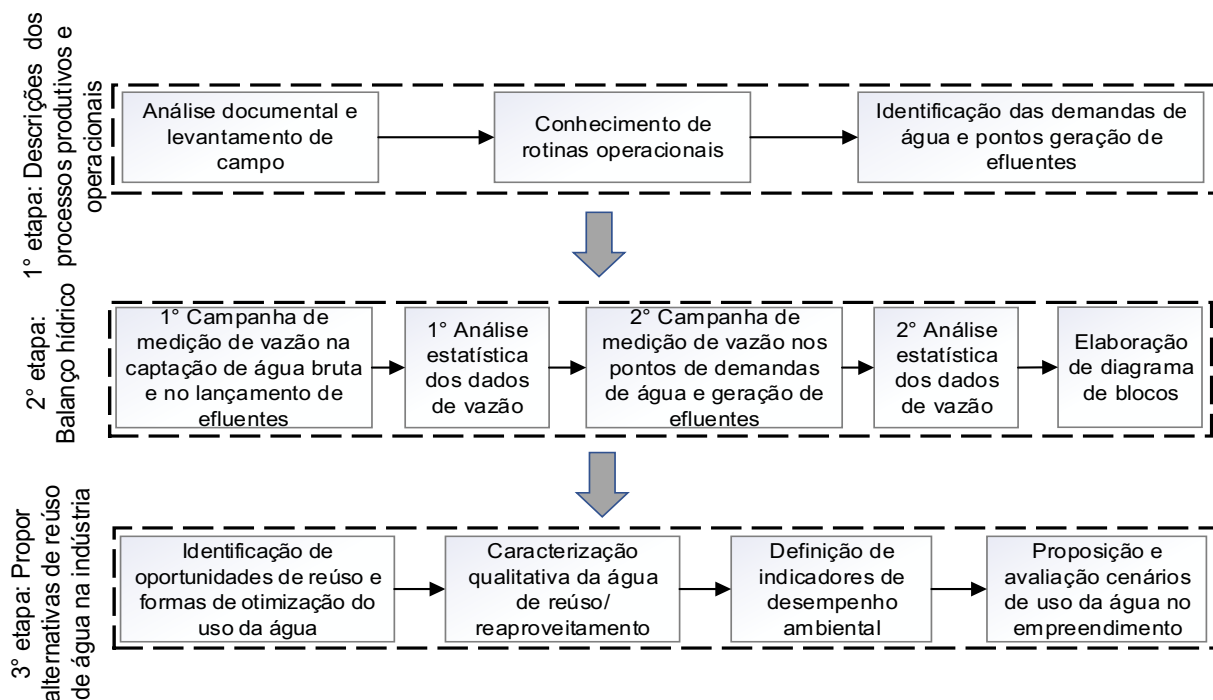
Alkaya & Demirer (2015) realizaram um trabalho em uma indústria de bebida na Turquia. Os pesquisadores concluíram que, após a implementação das práticas de reúso, obteve-se um decréscimo de 55% de água utilizada durante o processo de produção e 57,4% de esgoto gerado depois do processo produtivo, resultando em uma economia anual de, aproximadamente, US\$ 97.003,00 para a fábrica. No Brasil, Souza et al. (2016) reduziram em R\$ 1.278,00 por dia os custos operacionais de duas empresas do ramo de lavanderias industriais, de médio porte, localizadas na região Sul do Brasil.

Diante do exposto, o setor industrial de produção de bebidas pode desempenhar um papel importante para as práticas sustentáveis do uso da água. A partir dessa afirmação, este trabalho desenvolveu um protocolo de engenharia contendo procedimentos técnicos necessários para otimizar o consumo de água em indústrias de bebidas e analisar a viabilidade técnica da implantação das oportunidades de reúso e rea-

proveitamento de efluentes industriais. Outros objetivos dessa pesquisa são: realizar diagnóstico do uso dos recursos hídricos no processo produtivo do refrigerante; gerar alternativas para otimizar o consumo de água na indústria de refrigerantes; criar indicadores de desempenho ambiental; e propor cenários para o uso da água no empreendimento.

## 2 MÉTODO

A estrutura metodológica utilizada para alcançar os objetivos da pesquisa foi dividida em 3 etapas, sendo elas: 1<sup>a</sup>- descrições dos processos produtivos e operacionais; 2<sup>a</sup>- balanço hídrico; 3<sup>a</sup>- proposição de alternativas de reúso de água. A Fig. 1 contém o delineamento completo da metodologia aplicada neste trabalho.



**Figura 1** - Delineamento da metodologia adotada neste estudo.

Mais detalhes sobre cada etapa da metodologia do trabalho são explicados a seguir:

### 2.1 Descrições dos processos produtivos e operacionais

O início deste trabalho ocorreu mediante a avaliação dos documentos disponíveis no próprio empreendimento, objetivando obter informações como: fluxogramas de processo produtivo, manuais de operação de equipamentos, descrição e protocolos de operação de sistemas, bem

como fluxogramas da estação de tratamento de água e esgoto da fábrica. O conhecimento das rotinas operacionais ocorreu mediante a descrição de todo o processo de manufatura do refrigerante, mediante visitas ao empreendimento, objetivando o reconhecimento de todas as rotinas operacionais do processo industrial para descrever detalhadamente as atividades desenvolvidas, tais como: operações de limpeza e lavagens; operação e manutenção de máquinas e equipamentos; condições físicas dos equipamentos, tubulações e outros componentes; ro-

tinhas operacionais do setor de produção; rotinas operacionais da estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de esgoto (ETE) da fábrica. A partir deste levantamento foi possível identificar os pontos de consumo de água da fábrica de refrigerantes.

## 2.2 Balanço Hídrico

As campanhas de medição de vazão tiveram como finalidade aferir e coletar os dados de vazão para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerante. Esses dados foram tratados estatisticamente, objetivando obter as médias de vazões reais que auxiliem na compreensão do fluxo da massa líquida que ocorre durante a manufatura da bebida. Paralelamente às campanhas de medição de vazão, foram realizadas coletas dos dados de produção diária dos refrigerantes.

Em um primeiro momento, foi realizada a coleta de 30 dados de vazão no poço de captação de água subterrânea presente na fábrica de refrigerante. Essas medições ocorreram uma vez ao dia durante 30 dias, sempre às 9 horas da manhã. A partir desse resultado, foi efetuada a análise estatística preliminar, que determinou o número definitivo de medições necessárias para compor a 2ª coleta de dados de vazão. Os testes estatísticos tiveram como objetivo prevenir a coleta de dados excessiva ou muito pequenas, prevenindo o desperdício de tempo e a inconsistência dos dados para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerantes.

Ao todo foram utilizados 4 métodos de medição de vazão, sendo eles: medidor ultrassônico, vertedor triangular, método volumétrico e medidor ultrassônico. A seleção dos métodos de medição de vazão ocorreu conforme o acesso e praticidade do local de medição, sempre buscando a forma mais eficiente e adequada para a realização do trabalho.

O primeiro tratamento estatístico ocorreu para analisar 30 medições de vazão, referentes à 1ª coleta de dados. Nessa etapa, os dados coletados foram organizados e analisados por meio da estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo, variância e desvio padrão), teste de normalidade de Ryan-Joiner e a determinação tamanho de amostras por intervalo de confiança. Os testes estatísticos realizados na segunda coleta de dados, foram: teste de normalidade, estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo, variância e desvio padrão) e regressão linear simples.

Finalizada a estatística preliminar e obtidos os resultados da segunda coleta de amostras (dados de vazão), foram efetuados novos testes estatísticos, além do diagrama de blocos com os fluxos de massa líquida presentes no empreendimento estudado. Esses resultados foram analisados e interpretados e, em seguida, utilizados na proposição de medidas sustentáveis para a indústria de refrigerante.

## 2.3 Proposição de Cenários de Uso da Água

Com base nas informações obtidas nas etapas do diagnóstico do processo produtivo do refrigerante e balanço hídrico, para propor medidas de otimização do uso da água na fábrica de refrigerantes, foram realizadas as seguintes etapas: definição de indicadores de desempenho ambiental e econômico; identificação de oportunidades de reúso/reaproveitamento/redução de água nos setores da fábrica de refrigerantes; e propor três cenários de consumo de água, com diferentes alternativas de reutilização e/ou reaproveitamento de água.

Para caracterizar a água das oportunidades de reúso e/ou reaproveitamento de efluentes identificados ao longo da execução deste trabalho, para uma maior representatividade, foram realizadas 10 coletas de amostras simples de cada oportunidade de reaproveitamento identificada.

Após a coleta das amostras foram realizadas, in loco, análises das seguintes variáveis: cor aparente, turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido. Outras variáveis como: cloro residual total, coliformes totais e e-coli foram realizadas no Laboratório de Instalações Piloto de Tratabilidade de Águas e Lodo (LAMAG) sob coordenação do Grupo de Estudos em Tratabilidade de Água e Reúso de Efluente (GESA) nas dependências do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) na Universidade Federal do Pará (UFPA).

Após a realização das etapas de descrição do processo industrial e balanço hídrico foram definidos os indicadores de desempenho. Estes foram quantificáveis e medidos para conhecer o cenário atual do uso da água na fábrica, permitindo assim, uma avaliação comparativa entre a situação atual do empreendimento e os cenários propostos neste trabalho, bem como uma análise dos ganhos obtidos em termos ambientais e econômicos. No Quadro 1, estão listados os indicadores selecionados para avaliar os cenários de uso da água.

**Quadro 1** - Indicadores de avaliação de cenários do uso de água na indústria.

	Indicador	Descrição	Tipo de indicador
A	$\text{m}^3_{\text{água-captada}} / \text{m}^3_{\text{refr.}}$	Volume de água consumida / Volume de refrigerante produzido	Indicador de desempenho operacional
B	$\text{m}^3_{\text{efluente}} / \text{m}^3_{\text{água-captada}}$	Volume de efluente tratado / Volume de água captada	Indicador de geração de efluentes
C	$\text{m}^3_{\text{água-reúso}} / \text{m}^3_{\text{água-captada}}$	Volume de água de reúso / Volume de água captada	Indicador de desempenho operacional
D	$\text{kWh}/\text{m}^3$	Consumo de energia elétrica / volume de água e efluente tratado	Indicador de desempenho operacional
E	$\text{R}\$/\text{m}^3$	Custos de operação por metro cúbico de água consumida	Indicador financeiro

Os cenários de avaliação do uso da água na indústria de refrigerante foram realizados com base nos consumos de água para fins domésticos e industriais que se encontram no empreendimento. Ao serem identificadas as oportunidades de reúso e/ou reaproveitamento de água na fábrica de refrigerantes, foram propostos três cenários de avaliação, aqui denominados:

- Cenário I (pessimista): refere-se à situação atual da fábrica de refrigerante;
- Cenário II (provável): é composto dos resultados dos indicadores selecionados referentes a 50% das oportunidades de reúso/reaproveitamento identificados durante este estudo;
- Cenário III (otimista): é composto dos resultados dos indicadores selecionados referentes a 100% das oportunidades de reúso/reaproveitamento identificados durante este trabalho.

O uso dos indicadores de desempenho possibilitou a realização da discussão dos cenários de uso da água, obtendo o entendimento das oportunidades de reaproveitamento da água no empreendimento e como eles podem impactar no uso dos recursos hídricos ao longo do processo de manufatura do refrigerante, além de auxiliar na escolha das práticas de reúso em uma eventual implantação na fábrica de refrigerantes e na análise da viabilidade de adoção das práticas de reúso e reaproveitamento.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Descrições dos Processos Produtivo e Operacionais

A fábrica de refrigerante está localizada no município de Benevides no Estado do Pará, a 25 km

da capital Belém. O empreendimento trabalha com a prestação de serviços terceirizados, ou seja, ela efetua a produção de outras marcas de refrigerantes. Em 2018, a fábrica estudada é responsável pela produção de oito (08) marcas de refrigerantes.

A fábrica produz, em média, 133 mil litros de refrigerantes por dia, sendo classificada como médio porte, funcionando com regime que varia entre 10 e 20 horas de operação. No local são produzidos refrigerantes de vários sabores, tais como: cola, uva, limão, laranja e guaraná. Os produtos são envasados em garrafas PET e retornáveis com volumes de 290 mL, 350 mL, 600 mL, 1 L, 1,5 L e 2 L. O empreendimento possui 3 setores, sendo eles: administrativo, produção e almoxarifado. Além desses, existem áreas de

atividades complementares que estão ligadas indiretamente com a produção do refrigerante, tais como: ETE, ETA, casa de máquinas, área de produção de vapor e resfriamento. Ao todo, o empreendimento possui área de 21.104 m<sup>2</sup>.

Na Fig. 2 pode ser visualizado o esquema resumindo todas as etapas do processo de produção do refrigerante no empreendimento estudado. O mapeamento do processo industrial foi fundamental para identificar as características das etapas de produção do refrigerante e identificar os usuários de água e geradores de efluentes ao longo do processo produtivo. Além disso, fluxograma permitiu conhecer as possíveis oportunidades de desenvolver práticas de reúso de efluentes industriais, seja em cascata ou em reúso de efluente tratado.

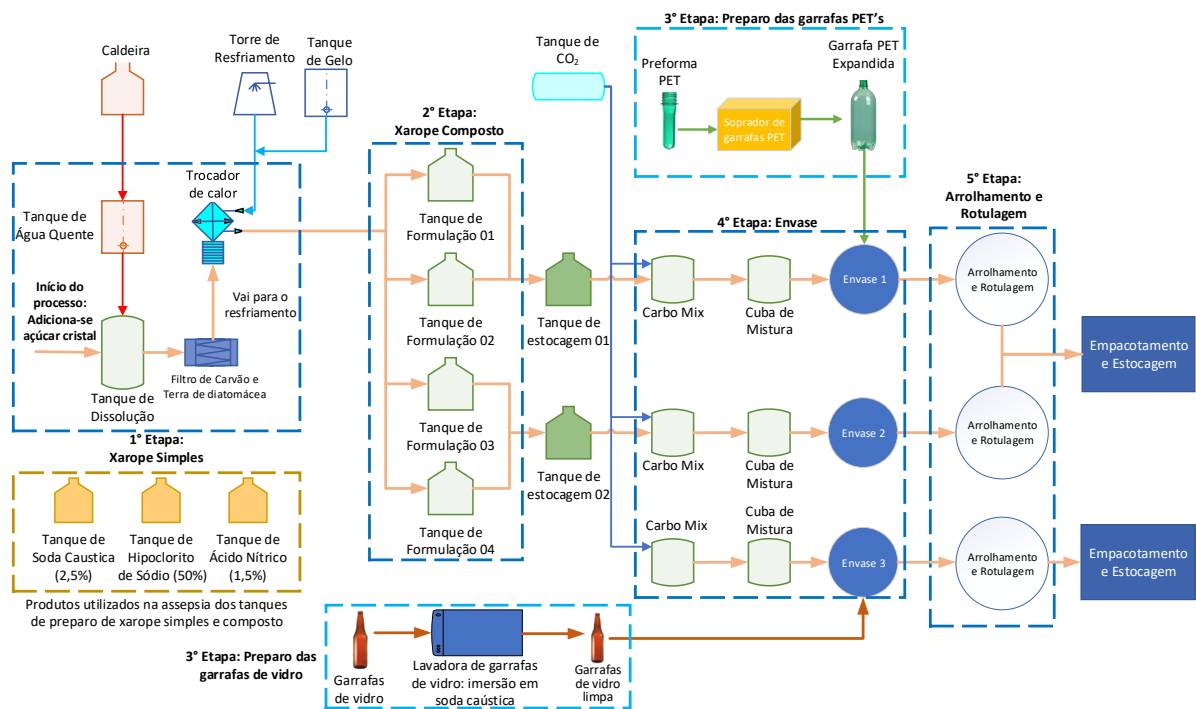


Figura 2 - Esquema do processo de produção do refrigerante.

As atividades que envolvem a lavagem de pisos, máquinas e equipamentos ocorrem intensamente nas etapas de produção do xarope composto e de envasamento, visto que nessas

etapas há o maior número de máquinas e equipamentos que necessitam de lavagem a cada troca de sabor do refrigerante que será produzido. Nessa área também foi observado que o nú-

mero de lavagens do piso na área de produção do xarope composto ocorria de 3 e 5 vezes por dia, já na área de envase esse número eleva-se para 7 vezes. Em ambas as áreas, o tempo de lavagem nestes setores varia entre 3 e 7 minutos. Todo o efluente gerado durante essa atividade é coletado em ralos e conduzido para a estação elevatória de esgoto bruto e, em seguida, recalcado para a ETE da fábrica.

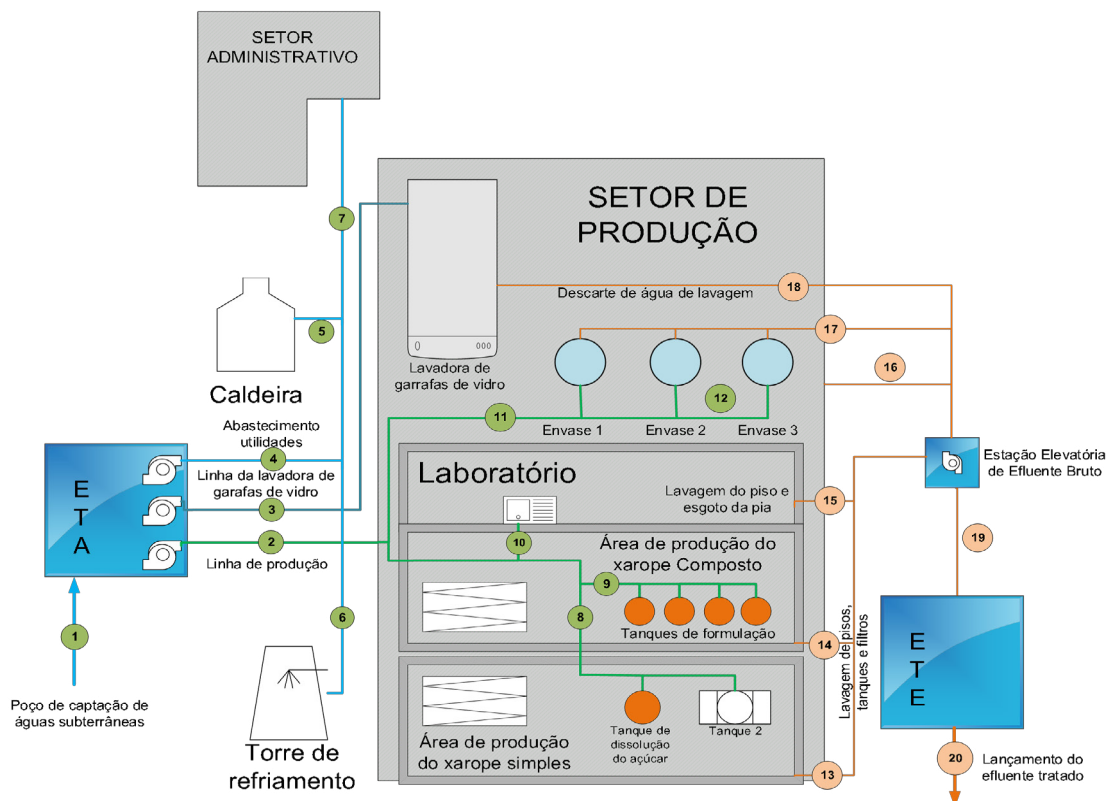
Outras atividades de limpeza rotineiras na fábrica são o CIP (Clean in Place) e a sanitização das máquinas e equipamentos. Essa atividade consiste na limpeza interna das máquinas responsáveis pela produção do refrigerante sem re-locução ou desmontagem.

Ao observar as lavagens dos pisos, foi concluído que nessa atividade ocorrem os maiores desperdícios de água, por conta da negligência de funcionários com o uso da água durante a execução desse serviço.

A lavadora de garrafas de vidro é um dos maiores consumidores de água da fábrica e, consequentemente, um dos maiores geradores de efluentes. Além disso, essa máquina de lavagem requer uma linha de distribuição de água exclusiva. Na ETA e ETE, o consumo de água ocorre principalmente na lavagem dos equipamentos, na produção de solução mãe de coagulantes, floculantes e hipoclorito de sódio, bem como na lavagem de pisos e retrolavagem dos filtros de areia e carvão ativado presentes da ETA.

### 3.2 Balanço Hídrico

Ao término da etapa de diagnóstico do processo produtivo foram identificados os pontos de consumo de água e geração de efluentes. Ao todo foram identificados 20 pontos, dentre consumo de água e geração de efluentes, para compor o balanço hídrico da fábrica de refrigerantes. Esses pontos são expostos na Fig. 3.



**Figura 3** - Pontos de medição de vazão de água e efluentes.

Ao analisar os resultados da 1ª campanha de medição de vazão notou-se a grande variação no consumo de água da fábrica, cujos valores variaram de 156 a 374 m<sup>3</sup>/d. Isso ocorreu em função da variação da quantidade de refrigerante que é produzida na fábrica nos dias das medições. Outro fator que impacta no consumo de água são os problemas que acontecem diariamente na fábrica, tais como: quebra de alguma máquina ou equipamento, bem como a manutenção deles; número de trocas de sabores que são produzidos; número de máquinas enchedoras que estão em operação; número de lavagens pisos, máquinas e equipamentos.

Quanto ao teste de normalidade, utilizando a técnica de Ryan-Joiner o resultado foi de

0,9817, indicando que a população amostral tende a ser normal, devido o valor ser próximo a 1. Ademais, nestes resultados, a hipótese nula dos dados segue uma distribuição de normal, em função do valor de P-valores ser de 0,3281, sendo este resultado maior do que o nível de significância de 0,05, desta forma não é rejeitada a hipótese nula.

Na determinação do tamanho de amostra que compôs a 2ª campanha de medição de vazão, o resultado obtido foi de 90 dados de vazão. O resultado do tamanho amostral foi obtido utilizando um erro amostral de no máximo 0,05 e nível de confiança de 95%. No Quadro 2 seguem as vazões média, máxima e mínima de cada ponto de medição.

**Quadro 2** - Resultados do balanço hídrico.

ID	Descrição do local	Vazão (m <sup>3</sup> /d)		
		Média	Mín	Máx
1	Captação de água bruta	291,8	155,0	422,0
2	Linha de abastecimento do setor produtivo	276,8	127,8	524,5
3	Linha de abastecimento da lavadora de garrafas de vidro	21,6	2,3	138,2
4	Linha de abastecimento de utilidades	24,5	9,8	42,4
5	Linha de abastecimento da caldeira	13,3	2,2	25,2
6	Linha de abastecimento da torre de resfriamento	1,5	1,5	1,5
7	Linha de abastecimento do setor administrativo	3,7	3,7	3,7
8	Xarope simples	46,8	27,2	75,5
9	Xarope composto	40,4	25,6	67,9
10	Linha de abastecimento do laboratório	0,2	0,2	0,2
11	Envase	189,6	75,1	381,1
12	Linha de abastecimento do <i>rinse</i>	23,3	7,1	40,8
13	Efluentes gerados na área da xaroparia simples	31,2	17,6	55,2
14	Efluentes gerados na área da xaroparia composto	38,4	24,3	64,5
15	Efluentes gerados na área do laboratório	0,1	0,1	0,1
16	Efluentes gerados na área de envase	75,8	37,2	199,8
17	Efluentes do <i>rinse</i>	17,64	5,4	30,9
18	Efluentes da máquina de lavagem de garrafas de vidro	20,2	2,1	129,0
19	Linha de recalque de efluente bruto	127,88	66,4	266,3
20	Linha de lançamento do efluente tratado	104,8	28,8	165,6

Ao analisar os resultados obtidos, fica evidente que o setor produtivo é o maior consumidor de água do empreendimento; nele são consumidos cerca de 94% da água do empreendimento. Os setores de utilidades e administrativos não pos-

suem grandes representatividades, e requerem 5% e 1%, respectivamente.

Como o setor produtivo é o maior consumidor de água da fábrica, as maiores probabilidades de encontrar oportunidades de reaproveitamento



ou reúso da água estão presentes neste setor. Ao analisar mais a fundo, observa-se que o envase do refrigerante é a etapa do processo produtivo com maior consumo de água, o que representa cerca de 64%. Em seguida, com aproximadamente 20% e 16% do consumo de água do referido setor, vêm as etapas de produção do xarope simples e xarope composto, respectivamente.

Outras atividades que requerem grandes quantidades de água na etapa de envase são: o *rinse* (água utilizada na lavagem de garrafas PET) e a máquina de lavagem de garrafas de vidro. Para essas atividades são direcionados, em média, 23,3 e 21,65 m<sup>3</sup>/d de água, respectivamente. Porém, como o consumo de água nessa atividade depende do número de garrafas lavadas, os valores máximos podem alcançar 40,8 m<sup>3</sup>/d no *rinse* e 138,2 m<sup>3</sup>/d na lavadora de garrafas retornáveis. Essas atividades resultaram em relações de água/garrafa lavada de 0,33 e 0,75 litros para garrafas PET e retornáveis, respectivamente.

Com 45,5% (18,36 m<sup>3</sup>/d) da demanda total destinada para a área de formulação do xarope composto, a lavagem de piso corresponde ao segundo maior consumo de água. As outras atividades consumidoras de água são a sanitização (18,88 m<sup>3</sup>/d) e CIP (6,30 m<sup>3</sup>/d) que representam 46,7% e 7,8% do consumo de água exigidos na produção do xarope composto.

Quanto à geração de efluentes na área de produção, são gerados, em média, 58,8 m<sup>3</sup>/d de efluentes na etapa de envase. Essa vazão representa 43% do volume de esgoto gerado no setor de manufatura. Para as demais etapas são gerados 41,2 m<sup>3</sup>/d e 39,6 m<sup>3</sup>/d de efluentes para a produção de xarope composto e calda balse, respectivamente.

### 3.2.1 Análise estatística

Igualmente ao primeiro teste estatístico efetuado neste trabalho, em função da variabilidade

dos resultados obtidos, a captação de água bruta e geração de efluentes apresentou valores elevados de desvio padrão, portanto os valores amostrais estão bem distribuídos em torno da média, indicando uma amostra não homogênea.

É importante ressaltar que a grande variação na vazão de captação de água e na geração de efluentes está diretamente ligada com a produção de refrigerantes, ou seja, há uma grande variação na quantidade da bebida produzida diariamente. Consequentemente, ocorrem oscilações no consumo de água e na geração de efluentes. Para simplificar os resultados estatísticos obtidos nesta etapa do trabalho, foi elaborado um gráfico *box plot* para representar os dados de consumo de água. O gráfico expõe o resultado dos três setores da fábrica; entretanto, para o setor produtivo estão presentes os resultados das três etapas que o compõem. Assim, na Fig. 4 são apresentados os resultados obtidos.

Analisando o gráfico da Fig. 4 nota-se que a etapa de envase apresentou as maiores vazões de consumo, além das maiores variações tanto na vazão de consumo de água como na geração de efluentes. Nesta etapa, considerando os quartis da análise estatística, a vazão de água oscilou de 75,0 a 312,75 m<sup>3</sup>/d; entretanto, houve a ocorrência de um outlier de 381,0 m<sup>3</sup>/d. Analisando as atividades que compõem a vazão final direcionada para a etapa de envase, foi observado que essa alta vazão ocorreu em função do funcionamento intenso da lavadora de garrafas retornáveis, que demandou cerca de 36% (136,2 m<sup>3</sup>/d) da vazão total destinada para o setor produtivo.

Por fim, para simplificar os resultados obtidos no balanço hídrico segue na Fig. 5 o diagrama de blocos contendo os fluxos de massa de água e de efluentes gerados em cada etapa e setor da fábrica de refrigerantes. Além disso, a figura apresenta as vazões de captação de água bruta e de lançamento de efluente tratado.

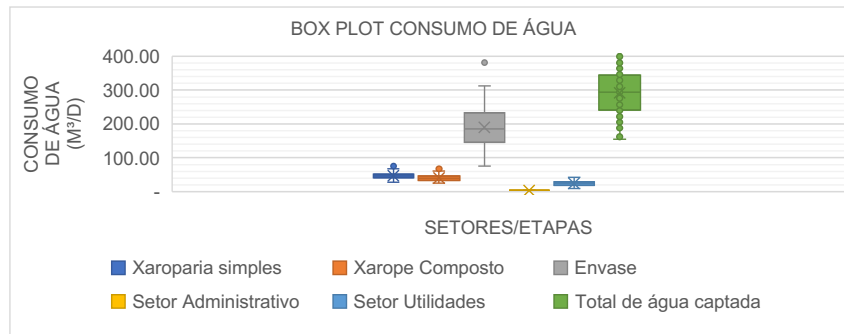


Figura 4 - Gráfico box plot do consumo de água nos setores da fábrica.

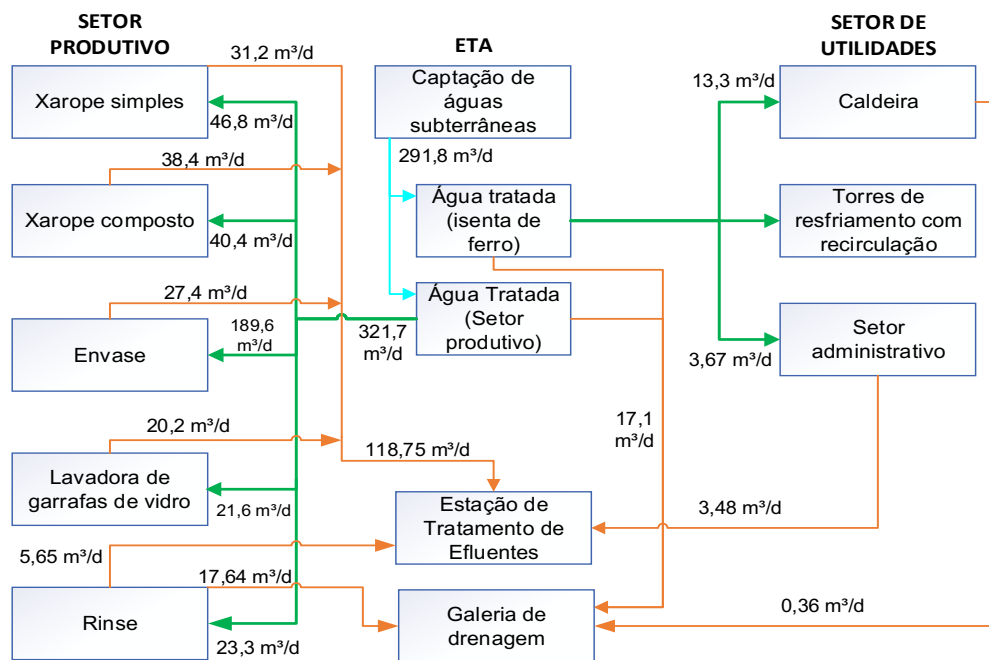


Figura 5 - Diagrama de blocos do consumo de água e geração de efluentes.

O consumo médio de água da fábrica de refrigerante foi de 291,8 m<sup>3</sup>/d, o que resultou em um indicador de 2,53 l.água/l.refrigerante. Quanto à geração de efluentes, são gerados ao todo 154 m<sup>3</sup>/d, no entanto 83% (127,88 m<sup>3</sup>/d) desses efluentes são destinados à ETE; o restante é despejado diretamente nas galerias de drenagem de águas pluviais. Ainda avaliando as vazões médias de água e efluentes, nota-se que 52,8% da água captada para a produção de refrigerantes torna-se esgoto. O *rinse* gera dois tipos efluentes, o primeiro (17,64 m<sup>3</sup>/d) é despejado na galeria de

águas pluviais e outro para a ETE, e o segundo (5,65 m<sup>3</sup>/d) é gerado pelas perdas de água que ocorrem no momento da coleta do líquido após o jateamento na garrafa PET.

### 3.3 Proposição de cenários do uso da água

Para a identificação de oportunidades de reaproveitamento de efluentes, foi realizada a avaliação das vazões, dificuldades para implantação da prática de reaproveitamento/reúso e carac-

terísticas dos efluentes disponíveis, assim como dos requisitos de qualidade exigidos para a en-

trada do processo. O Quadro 3 resume as possibilidades identificadas neste trabalho.

**Quadro 3** - Oportunidades de reaproveitamento e medida de redução do consumo de água.

Oportunidade identificadas	Q <sub>med</sub> (m³/d)	Objetivo	Dificuldades
Água de rinse (água utilizada na lavagem das garrafas PET)	17,64	Reaproveitar a água utilizada na lavagem de garrafas PET	Não há dificuldades significativas para a coleta e tratamento deste efluente
Efluente da lavadora de garrafas de vidro	20,20	Reutilizar efluente da lavadora de garrafas retornáveis	Efetuar o tratamento e distribuição da água de reúso
Substituição de mangueiras de lavagem de piso por lavadora de alta pressão	39,83	Reduzir o consumo de água durante a lavagem dos pisos	Não há dificuldades significativas, pois é necessário apenas a aquisição do equipamento

Os resultados obtidos na caracterização dos efluentes seguem na Tabela 1. Cabe destacar

que para cada tipo de efluente foram analisadas 10 amostras.

**Tabela 1** - Caracterização das amostras do efluente do rinse e lavadora de garrafas retornáveis.

Efluente	Método	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cloro total (mg/L)	pH	Condutividade (µS/cm²)	Temperatura (°C)	Coliforme Total	E.Coli
Referências EPA (1992) NBR 15527:2007		<15	<5	≤ 1	6 a 9	-	-	Não detectável	
Rinse	Média	4,90	0,26	0,00	7,17	323,80	27,90	Ausente	Ausente
	Mínimo	2,00	0,10	0,00	6,90	268,00	27,20	-	-
	Máximo	8,00	0,50	0,00	7,53	365,00	28,70	-	-
	DP	2,13	0,13	-	0,21	35,30	0,48	-	-
Lavadora de garrafas retornáveis	Média	18,70	22,00	0,00	11,3	1139,80	44,30	Ausente	Ausente
	Mínimo	7,00	11,30	0,00	11,0	1128,00	41,00	-	-
	Máximo	36,00	36,10	0,00	11,5	1158,00	48,00	-	-
	DP	8,07	7,88	0,00	0,14	9,28	2,31	-	-

Conforme os resultados presentes na Tabela 1, o efluente da lavadora de garrafas retornáveis da fábrica de refrigerantes estudada não se encontra dentro das faixas estabelecidas pelas referências da EPA (1992) e NBR 15527 (ABNT, 2007), portanto o líquido deverá passar por tratamento físico-químico, filtração ou osmose reversa antes de ser reutilizado. Entretanto, a água de rinse ficou dentro das recomendações das referências

bibliográficas e poderá ser reutilizada sem o tratamento prévio.

### 3.3.1 Análise dos indicadores de desempenho ambiental

No Quadro 4 são expostos os resultados obtidos para os indicadores de desempenho ambiental da fábrica de refrigerantes.

**Quadro 4** - Indicadores ambientais e de desempenho da fábrica de refrigerantes.

ID	Indicadores	Resultado		Referências
A	$\text{m}^3_{\text{água}} / \text{m}^3_{\text{refrigerante}}$	2,53	2,5 a 3,5 1,5	CETESB (2005) ABIR (2017)
B	$\text{m}^3_{\text{efluente}} / \text{m}^3_{\text{água}}$	0,45	0,25 0,75	Kasmi et al. (2016) Haydar et al. (2015)
C	$\text{m}^3_{\text{água-otimizada}} / \text{m}^3_{\text{água-consumida}}$	0,0	0,40 0,55	ABIR (2017) Alkaya & Demirer (2015)
D	$\text{kWh}/\text{m}^3_{\text{ÁGUA}}$ $\text{kWh}/\text{m}^3_{\text{EFUENTE}}$	1,46 4,34	---	---
E	$\$/\text{m}^3$ - ETA $\text{R}\$/\text{m}^3$ - ETE	0,69 2,46	3,55 e 4,01 0,19 ( $\$/\text{m}^3$ )	Souza et al. (2016) Alkaya & Demirer (2015)

Para o indicador A, o resultado obtido após a apuração dos dados foi de  $2,53 \text{ m}^3_{\text{água}} / \text{m}^3_{\text{refrigerante}}$ . Comparando esse resultado com as referências contidas no Quadro 5, nota-se que o resultado está dentro das faixas indicadas pela CETESB (2005) e PROBEB (2014).

O indicador B resultou em  $0,45 \text{ m}^3_{\text{efluente}} / \text{m}^3_{\text{água}}$ ; esse valor encontra-se em meio aos resultados alcançados pelos autores de referência, ou seja 80% acima de  $0,25 \text{ m}^3_{\text{efluente}} / \text{m}^3_{\text{água}}$  e, aproximadamente, 40% menor que o maior valor de referência.

Quanto ao indicador C, atualmente a fábrica de refrigerantes não possui nenhuma forma de reúso ou reaproveitamento de efluentes.

Somados todos os custos operacionais da ETE e ETA do empreendimento, pode-se concluir que, para a ETE, o indicador  $\text{R}\$/\text{m}^3$  tem como resultado  $\text{R}\$ 2,46$ , e para a ETA,  $\text{R}\$ 0,69$ . Assim, levando em consideração as vazões médias de  $291,81 \text{ m}^3/\text{d}$  para a ETA e  $104,78 \text{ m}^3/\text{d}$  para a ETE, pode-se concluir que atualmente, em média, são gastos  $\text{R}\$ 201,35$  por dia na ETA e  $\text{R}\$ 257,76$  na ETE, totalizando  $\text{R}\$ 459,11$  por dia. Os autores Alkaya & Demirer (2015) obtiveram um indicador de custo para tratamento de efluentes de  $\text{US}\$ 0,19/\text{m}^3$  em uma indústria de bebidas na

Turquia. Esses resultados foram inferiores aos encontrados por Souza et al. (2016), que avaliaram duas empresas do ramo de lavanderias industriais. Mediante a análise de custos e medição de vazão para as empresas A e B, foram obtidos indicadores de tratamento de água de 3,55 e 4,01  $\text{R}\$/\text{m}^3$ , respectivamente.

### 3.3.2 Cenários do uso da água

Quanto aos resultados do indicador C, com as oportunidades de reaproveitamento e otimização do uso da água podem ocorrer reduções de 20% e 23% nos cenários II e III, respectivamente. Esses resultados ainda são inferiores aos 40% encontrados na pesquisa desenvolvida pela ABIR; entretanto, é importante destacar que as oportunidades selecionadas, caso sejam implantadas na fábrica, não necessitam de grandes investimentos ou alterações construtivas no local, pois não há necessidade de tratamento da água, o que facilita a adoção desta prática sustentável. Levando em consideração que a produção média de refrigerantes no empreendimento é de  $133,46 \text{ m}^3$ , foram realizadas simulações do consumo de água geração de efluentes, consumo de energia elétrica e custos de operação da ETE e ETA. Os resultados seguem na Tabela 2.

**Tabela 2** - Avaliação do impacto de reaproveitamento de efluentes na vazão e custos operacionais da fábrica de refrigerantes.

Variáveis		Cenário I	Cenário II	Cenário III
Volume de consumo de água (m <sup>3</sup> )		337,65	268,25	256,24
Volume de efluente tratado (m <sup>3</sup> )		152,20	120,92	115,50
Volume de reaproveitamento (m <sup>3</sup> )		0,00	53,65	58,94
Consumo de energia (kW)	ETA	492,23	391,06	373,55
	ETE	660,48	524,73	501,23
	Total	1152,71	915,79	874,78
Custo de operação (R\$)	ETA	233,42	185,44	177,14
	ETE	373,85	294,56	281,37
	Total	607,27	480,00	458,51

Com a redução dos valores do indicador A de  $2,53 \text{ m}^3_{\text{água}}/\text{m}^3_{\text{refrigerante}}$  para  $2,01$  e  $1,92 \text{ m}^3_{\text{água}}/\text{m}^3_{\text{refrigerante}}$  nos cenários II e III respectivamente, ocorre a redução do consumo de energia elétrica e dos custos de operação da ETE e ETA. Adotando 100% das práticas de reaproveitamento e otimização da água utilizada no setor produtivo, a fábrica de refrigerantes estudada se aproxima, no consumo específico de água para produção de refrigerante, da indústria de bebidas avaliadas pela ABIR em 2017, que identificou indústrias que utilizam apenas  $1,5 \text{ m}^3$  de água para a produção de  $1 \text{ m}^3$  de refrigerante.

Ao analisar a Tabela 2 pode-se observar que no Cenário II ocorre a redução de 20,6% do consumo de água, já no cenário III esse percentual eleva-se para 24,1%, proporcionando economias de  $69,4 \text{ m}^3/\text{d}$  e até  $81,4 \text{ m}^3/\text{d}$  de água. A estimativa do cenário III é semelhante aos resultados obtidos por Agana et al. (2013), de que após identificar oportunidades de reutilização de água eles adquiriam uma economia de  $83,2 \text{ m}^3/\text{dia}$  de água.

Com as mesmas proporções de reduções, a geração de efluentes apresentou abatimentos de  $31,28 \text{ m}^3$  no cenário II e  $36,70 \text{ m}^3$  no cenário III, indicando que com a implementação das práticas de reaproveitamento e otimização do uso da água poderá haver reduções nos mesmos percentuais do consumo de água. Desta forma, a redução máxima que poderá ocorrer, adotando o reaproveitamento de efluentes e práticas sustentáveis propostas, é de 24,1%. Essa redução ficou abaixo do

resultado alcançado por Alkaya & Demirer (2015), que obtiveram um decréscimo de 57,4% de esgoto gerado depois do processo produtivo.

Quanto à redução dos custos de operação da ETE e ETA, adotando 50% do potencial de redução do consumo de água será possível economizar R\$ 127,27 por dia; já no cenário III, o valor se eleva para R\$ 148,76, totalizando anualmente economias de R\$ 33.598,76 e R\$ 39.272,83, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

O diagnóstico do uso dos recursos hídricos possibilitou que fossem identificadas oportunidades de reaproveitamento de efluentes, de forma que gerou alternativas de otimização do uso da água, bem como entender todo o sistema de abastecimento de água do empreendimento e determinar os pontos que comporá o balanço hídrico.

Os cinco indicadores selecionados foram fundamentais na avaliação do empreendimento, pois eles possibilitaram conhecer e comparar os impactos no consumo de água e geração de efluente em cada cenário proposto.

Quanto aos cenários de uso da água propostos, por meio do uso dos indicadores ambientais e de desempenho, foi possível conhecer o quanto cada oportunidade de reúso e reaproveitamento impacta no consumo de água, geração de efluentes, consumo de energia elétrica e no

custo operacional da ETA e ETE. Sendo assim, foi possível concluir que o cenário III apresentou as reduções mais significativas nos indicadores ambientais e de desempenho, sendo mais viável para a implantação na planta industrial.

Por fim, o protocolo de engenharia estabelecido neste trabalho para avaliar a conservação do uso da água na fábrica de refrigerantes se mostrou adequado para o levantamento de informações sobre o processo produtivo industrial, caracterização de efluentes, identificação de oportunidades de reaproveitamento/reúso, bem como a proposição de cenários de uso da água, podendo auxiliar na execução de trabalhos com objetivos similares.

## 5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

## 6 REFERÊNCIAS

- A.AGANA, B.; REEVE, D.; DORBELL, J. An approach to industrial water conservation – a case study involving two large manufacturing companies based in Australia. **Journal of Environmental Management**, n. 114, p. 445–460, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.047>>.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, p. 60. 1997.
- ALKAYA, T.; DEMIRER, G. N. Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A casestudy for sustainable industrial water management in Turkey. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 9, August 2015.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira das Industrias de Refrigerantes e Bebidas não Alcoólicas (ABIR). **Associação Brasileira das Industrias de Refrigerantes e Bebidas não Alcoólicas (ABIR)**, 2017. Disponível em: <<https://abir.org.br/diamundialdaagua2017/>>. Acesso em: 12 Outubro 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14031 - Gestão Ambiental - Avaliação de desempenho ambiental - Diretrizes**. Rio de Janeiro - RJ, p. 38. 2004.
- ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS BEBIDAS REFRESCANTES NÃO ALCOÓLICAS (PROBEB), 2017. Disponível em: <[www.probeb.pt](http://www.probeb.pt)>. Acesso em: 15 Outubro 2017.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Panorama do setor de bebidas no Brasil**. BNDS. Rio de Janeiro, p. 50. 2016.
- CICHINELLI, G. Reúso de água: soluções não potáveis. **Téchne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 16, n. 133, p. 54-57, 2008.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Cervejas e refrigerantes (Série P + L)**. CETESB. São Paulo, p. 58. 2005.
- DIFANTE, J. D. S.; SILVA, R. F. D. CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO EM INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES. **Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 39-54, 2007. ISSN 1981-2841.
- FARIA, A. C. **Avaliação do Ciclo de Vida na Indústria dos Refrigerantes – O Caso da Etanor/Penha**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) - Universidade do Porto. Porto, p. 74. 2017.
- FIESP/CIESP. **Programa de conservação e reúso da água - PCRA**. FIESP/CIESP. Viçosa-MG, p. 46. 2011.
- GALVÃO, M. R. **Estudo do reúso não potável de água de processo e efluente tratado em indústria de bebidas**. Dissertação (Mestrado profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, p. 156. 2010.
- GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, mai-ago 2012. ISSN 1809-239X.
- HAROON, H.; WASEEM, A.; MAHMOOD, Q. Treatment and Reuse of Wastewater from Beverage Industry. **J. Chem. Soc. Pak.**, v. 35, n. 1, p. 6, 2013.
- HAYDAR, S. et al. Water Conservation Initiatives and Performance Evaluation of Wastewater Treatment Facility in a Local Beverage Industry in Lahore. **Pak. J. Engg. & Appl. Sci**, v. 16, n. 1, p. 100 - 109, Jan 2015.
- HSINE, E. A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M.-N. Water Resources Management in Soft Drink Industry-Water Use and Wastewater Generation. **Environmental Technology**, v. 26, n. 12, p. 1309-1316, May 2010.
- IMOUBE, T. O. T.; KOYE, P. I. O. Assessment of the impact of effluent from a soft drink processing factory on the physico-chemical parameters of eruvbi stream benin city, Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 4, n. 1, p. 126 - 134, June 2011. ISSN 2006 - 6996.
- KASMI, M. E. A. Eco-friendly process for soft drink industries wastewater reuse as growth medium for Saccharomyces

cerevisiae production. **Springer-Verlag**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Out-Fev 2016.

KEMERICH, P. D. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 3723-3736, 2014. ISSN 2236 1308. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>>.

LOZANO, R.; CARPENTER, A.; SATRIC, V. Fostering green chemistry through a collaborative business model: A Chemical Leasing case study from Serbia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 78, p. 136-144, September 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.007>>.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: Estudo de caso na Kodak Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 367. 2002.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Programa para o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando o uso racional e a

reutilização. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 11-15, Abr/jun 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**. Divisão de Ciências Hídricas - UNESCO. Colombella, Perugia, Itália. 2016.

PROBEB. **Associação Portuguesa das Bebidas Refrescantes Não Alcoólicas**, 2017. Disponível em: <[www.probeb.pt](http://www.probeb.pt)>. Acesso em: 06 Novembro 2017.

RODRIGUES, F. A.; THIAGO, L. E. S. **Manual de indicadores ambientais**. FIRJAN. Rio de Janeiro, p. 20. 2008.

SOUZA, M. C. D. et al. Análise das práticas de reúso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa maria, v. 20, n. 1, p. 497-496, Jan-Abr 2016. ISSN 22361170.