



Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade

ISSN: 2316-9834

revistageas@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Sousa Ferreira, Bruna; Ferreira Lopes Santos, David; de  
Brito Thomaz, André Gustavo; Giroto Rebelato, Marcelo  
**ECOINOVAÇÃO EM UMA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA:  
A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE ÁGUAS RESIDUAIS ZERO**

Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 7, núm. 1, 2018, Enero-, pp. 131-145

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

DOI: <https://doi.org/10.5585/geas.v7i1.719>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=471659745009>

- [Cómo citar el artículo](#)
- [Número completo](#)
- [Más información del artículo](#)
- [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto



## ECOINOVAÇÃO EM UMA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA: A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE ÁGUAS RESIDUAIS ZERO

<sup>1</sup>Bruna Sousa Ferreira

<sup>2</sup>David Ferreira Lopes Santos

<sup>3</sup>André Gustavo de Brito Thomaz

<sup>4</sup>Marcelo Giroto Rebelato

### RESUMO

O aumento da competitividade global, a crescente demanda por eficiência operacional, as regulações socioambientais, a pressão dos *stakeholders* e a rápida transformação tecnológica desafiam cada vez mais as empresas a inovarem com foco ambiental. O objetivo do estudo foi a elaboração de um relato técnico para analisar o potencial de projetos de ecoinovação aplicados em uma usina sucroenergética com vistas ao gerenciamento adequado do processo de captação, reuso e descarte de água, visando diminuição de custos operacionais e melhoria dos aspectos ambientais. O método de pesquisa utilizado foi um estudo de caso único, qualitativo e de natureza aplicada. A pesquisa teve como estudo uma indústria sucroenergética, situada na região Noroeste do estado de Minas Gerais. Quanto à eficiência operacional e redução de custos, a empresa almeja, com a implantação, a redução dos gastos com recursos hídricos de 20%, o que representa uma economia de aproximadamente 7,4 milhões de reais ao ano, apesar dos investimentos no montante total de R\$ 1,18 milhão em adequações estruturais para a implantação total do projeto. Pretende-se aperfeiçoar cada vez mais esse projeto, buscando expandir a ecoinovação em outros processos organizacionais da empresa. Com esse estudo buscou-se avançar as discussões de ecoinovação na agroindústria, visto que é um setor representativo para economia brasileira.

**Palavras-chave:** Cana-de-açúcar. Inovação sustentável. Resíduos industriais. Sustentabilidade.

---

<sup>1</sup> Mestranda em Administração pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, São Paulo, (Brasil). E-mail: [bruna.sousaferreira@gmail.com](mailto:bruna.sousaferreira@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor em Administração de Empresas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo, (Brasil). E-mail: [david.lobes@fcav.unesp.br](mailto:david.lobes@fcav.unesp.br)

<sup>3</sup> Mestrando em Administração pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, São Paulo, (Brasil). E-mail: [andre.gustavo21@terra.com.br](mailto:andre.gustavo21@terra.com.br)

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, (Brasil). E-mail: [mgiroto@fcav.unesp.br](mailto:mgiroto@fcav.unesp.br)



## ECOINOVATION IN A SUCROENERGY AGROINDUSTRY: THE IMPLEMENTATION OF THE RESIDUAL WATER PROJECT ZERO

### ABSTRACT

Increasing global competitiveness, increasing demand for operational efficiency, social and environmental regulations, stakeholder pressure and rapid technological change are increasingly challenging companies to innovate with environmental focus. The objective of the study was the elaboration of a technical report to analyze the potential of eco-innovation projects applied in a sugar-energy plant with a view to the adequate management of the process of abstraction, reuse and disposal of water, aiming at reducing operational costs and improving environmental aspects. The research method used was a single, qualitative and applied case study. The research had as study a sugarcane industry, located in the Northwest region of the state of Minas Gerais. Regarding operational efficiency and cost reduction, the company aims to reduce water resources costs by 20%, which represents savings of approximately R\$ 7.4 million per year, despite the investments totaling R \$ 1.18 million in structural adjustments for the total implementation of the project. The intention is to improve this project more and more, seeking to expand the eco-innovation in other organizational processes of the company. This study aimed to advance the eco-innovation discussions in agroindustry, since it is a representative sector for the Brazilian economy.

**Keywords:** Industrial Waste. Sugar Cane. Sustainability. Sustainable Innovation.

## ECOINERACIÓN EN UNA AGROINDÚSTRÍA SUCROENERGÉTICA: LA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO DE AGUAS RESIDUALES CERO

### RESUMEN

El aumento de la competitividad global, la creciente demanda de eficiencia operacional, las regulaciones socioambientales, la presión de los stakeholders y la rápida transformación tecnológica desafían cada vez más a las empresas a innovar con un enfoque medioambiental. El objetivo del estudio fue la elaboración de un relato técnico para analizar el potencial de proyectos de ecoinnovación aplicados en una usina sucroenergética con miras a la gestión adecuada del proceso de captación, reutilización y descarte de agua, con vistas a la disminución de costos operacionales y la mejora de los aspectos ambientales. El método de investigación utilizado fue un estudio de caso único, cualitativo y de naturaleza aplicada. La investigación tuvo como estudio una industria sucroenergética, situada en la región Noroeste del estado de Minas Gerais. En cuanto a la eficiencia operacional y reducción de costos, la empresa anhela con la implantación la reducción en gastos con recursos hídricos del 20%, que representa una economía de aproximadamente 7,4 millones de reales al año, a pesar de las inversiones por el monto total de R\$ 1,18 millones en adecuaciones estructurales para la implantación total del proyecto. Se pretende perfeccionar cada vez más este proyecto, buscando expandir la ecoinnovación en otros procesos organizacionales de la empresa. Con ese estudio se buscó avanzar las discusiones de ecoinnovación en la agroindustria, ya que es un sector representativo para la economía brasileña.

**Palabras clave:** Caña de Azúcar. Innovación Sostenible. Residuos Industriales. Sostenibilidad.



## INTRODUÇÃO

A inovação apresenta-se como um dos principais recursos para contribuir com a sustentabilidade das empresas, a partir de alterações tecnológicas, de produtos e gestão que podem entregar uma dinâmica distinta à atuação das organizações com vistas à redução do impacto social e ambiental. Segundo Santos, Basso, Kimura, & Sobreiro (2015), não há consenso da maneira como denominar a inovação voltada para melhoria ambiental em atividades empresariais, como adotado em variados trabalhos técnicos e acadêmicos e com extensa aplicação, será utilizado nesse trabalho os termos ecoinovação e inovação sustentável como sinônimos.

Para Kemp e Pearson (2007) ecoinovação refere-se à produção de um produto, ou desenvolvimento de um processo de produção, serviço ou método de gestão que é novo para a organização e que tem que resultar, ao longo do seu ciclo de vida, em impacto junto ao ambiente natural e social.

Os setores produtores de energia e combustível são cruciais para a melhoria da sustentabilidade mundial, pois são setores que podem contribuir para diminuição do impacto ambiental e produção de Gases de Efeito Estufa (GEE) causadas por suas atividades. Por esse motivo a agroindústria canavieira está em fase de expansão frente à demanda mundial por um combustível mais limpo e de fonte renovável (Santos, Basso, Kimura, & Sobreiro, 2015).

A indústria sucroenergética representa relevante importância econômica ao Brasil e está em fase de plena expansão frente à demanda mundial por combustíveis limpos e oriundos de fontes renováveis (Santos *et al.*, 2015). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB] (2017) a indústria sucroenergética brasileira movimentou US\$ 11,34 bilhões no ano de 2016. Nesse sentido, a produção de cana para a safra de 2016/2017 foi estimado em cerca de 657,18 milhões de toneladas de cana-de-açúcar

processada, produzindo 27,8 bilhões m<sup>3</sup> de etanol hidratado e 38,69 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2017).

A indústria sucroenergética é uma atividade que apresenta elevado potencial de poluição, quanto aos resíduos gerados da produção do etanol e açúcar, com grande relevância na utilização dos recursos hídricos, pois as plantas industriais utilizam grandes vazões de água em todo o processo produtivo, em especial, na lavagem da cana *in natura*, gerando um volume significativo de águas residuais (Ingaramo, Heluane, Colombo, & Cesca, 2009; Sahu & Chaudhari, 2015).

Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB] (2002) para cada 1.000 ton de cana são necessários 16,6 mil m<sup>3</sup> de água e durante o processamento da cana são geradas 17,1 mil m<sup>3</sup> de águas residuárias. Considerando a produção por safra de mais de 650 milhões de ton de cana, é possível observar a importância do tema, não somente, para o setor mas para toda a sociedade.

Com o avanço tecnológico e gestão ambiental adequada, os impactos ambientais podem ser totalmente minimizados. Os resíduos gerados do processamento de cana-de-açúcar geralmente são materiais orgânicos que tem grande potencial para reutilização. Com isso, o volume de água doce requerida por esta indústria pode ser significativamente reduzido por meio da recuperação das águas residuais presentes no processo produtivo cana-de-açúcar. Diante do exposto, a questão que motivou este relato foi: quais inovações ambientais (tecnológicas e gerenciais) podem ser utilizadas em uma usina sucroenergética para reduzir ao nível zero a quantidade de águas residuais?

Neste sentido, o objetivo do estudo é analisar o potencial de projetos de ecoinovação aplicados em uma usina sucroenergética com vistas ao gerenciamento adequado do processo de captação, reuso e descarte de água.



## CONTEXTO INVESTIGADO

A pesquisa teve foco em uma indústria sucroenergética de porte médio para o setor, pois tem capacidade para produção de 2,5 milhões de toneladas de cana por ano, frente as grandes com capacidade superior a 5 milhões. A usina está situada na região Noroeste do estado de Minas Gerais que apresenta relevo totalmente plano, com diversidade de solos, ótima disponibilidade de recursos hídricos, e características climáticas ideais para o cultivo da cana-de-açúcar.

A empresa destaca, na sua visão, o interesse em ser referência em eficiência de processos e no desenvolvimento de inovações que assegurem a melhoria contínua e a sustentabilidade. Essa diretriz estratégica tem contribuído para um posicionamento de destaque junto a região, fato evidenciado pela consecução de prêmios de diferentes entidades do setor.

A usina possui um plano estratégico alinhado com o seu modelo de negócio que tem como premissa a criação de valor por meio de produtos autossustentáveis. Nesta direção, objetivos e metas são propostos dentro dos processos operacionais que devem ser orientados à rentabilidade do investimento, redução de custos, eficiência operacional, produtividade agrícola e atendimento aos requisitos ambientais e sociais exigidos externamente e estabelecidos internamente.

A estrutura tecnológica industrial desta usina é equivalente aos principais *players* do mercado, pois integra os três principais produtos derivados da cana-de-açúcar: etanol hidratado, açúcar e cogeração de energia elétrica.

A energia elétrica é gerada a partir da queima do bagaço da cana e se constitui como a principal inovação radical do setor desde o etanol hidratado (Santos *et al*, 2015). Essa inovação permitiu, a geração de energia elétrica oriunda de fonte renovável e ainda contribuiu para eliminação do principal resíduo, em volume, do processo: o bagaço

da cana. Além disso, ressalta-se que a usina já adota inovações ambientais conhecidas no setor como fertilização associada à irrigação (fertirrigação) das áreas cultivadas com a aspersão de águas residuais e aplicação da vinhaça que também é um subproduto do processo produtivo da produção de açúcar e etanol. (Rebelato, Madaleno, & Rodrigues, 2014).

## DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INVESTIGADA

Em razão da amplitude do impacto ambiental que pode ser gerado por uma usina sucroenergética delimitou-se, neste trabalho de intervenção, aqueles diretamente associados aos recursos hídricos. Essa decisão justifica-se nos seguintes pontos: i) em razão da estiagem no período de 2014 a 2016 na região Sudeste do Brasil, a autossuficiência em recursos hídricos assumiu uma posição de destaque nas estratégias das indústrias com valores ambientais; e ii) no contato inicial com a empresa, este tema foi o proeminente. Na expectativa de alcançar o objetivo deste estudo, Roscoe, Cousins, & Lamming (2016) assinalaram que a implantação de ecoinovação nos processos, principalmente industriais, pode reduzir o impacto ambiental das etapas produtivas por meio de tecnologias de produção mais limpa.

Desde o contato inicial com a usina até a análise dos investimentos realizados em inovações ambientais, verificou-se que a principal motivação se concentra na redução dos custos de produção, o que reforça o caráter de inovação, pois as ecoinovações não devem apresentar, apenas importância ambiental, mas também um impacto positivo no desempenho econômico ou financeiro da empresa (Jacomossi, Demajorovic, Bernardes, & Santiago, 2016).

As atividades de ecoinovação podem ser analisadas em três dimensões que são: metas (as áreas de foco da ecoinovação); mecanismos (como as mudanças são feitas para chegar ao objetivo); e impactos (efeitos da ecoinovação no ambiente).



No entanto, Horbach, Rammer, & Rennings (2012) mostram que os determinantes da ecoinovação é uma convergência dos fatores puxados pelo mercado e órgãos reguladores e empurrados pelo avanço tecnológico e pelo desenvolvimento organizacional. No mesmo sentido, muitas ecoinovações se revelam como adequações de instalações e processos com vistas ao cumprimento das exigências legais do Brasil, em se tratando em águas residuais, para atender a Política Nacional dos Recursos Hídricos, (\_Lei nº 9.433, 1997).

Este apontamento se mostra necessário, em função de uma perspectiva teórica proposta por Rennings (2000) em que os fatores de impulso da tecnologia e exigências do mercado por si só não parecem ser significativos para adoção ou investimento em ecoinovação. Os autores Tseng, & Bui (2017) corroboram que desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se os conceitos de desenvolvimento ecoindustrial são incorporados às políticas públicas nacionais. Nesta direção, Aloise, Nodari, & Dorion (2016), afirmam que a necessidade de uma regulamentação para proteger o meio ambiente natural tem grande anuência e apoio junto à sociedade, a despeito de posicionamentos contrários que alegam que essa prática prejudica a competitividade.

Com a busca de processos menos impactantes para o ecossistema, o setor de qualidade, que é integrado com a gestão ambiental da usina estudada adota processos de produção mais limpa (P+L) em toda sua cadeia produtiva, sendo uma das etapas evolutivas da ecoinovação. A P+L conceitua-se na aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias primas, água e energia, a partir da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Insere o uso mais eficiente dos recursos naturais e, como resultado, reduz a geração de resíduos e poluição, bem como os riscos à saúde humana, conforme dados do Centro

Nacional de Tecnologias Limpas [CNTL]. (CNTL, 2003).

O descarte inadequado de efluentes industriais e águas residuais no meio ambiente causa preocupação pública e social, além de regulações ambientais cada vez mais restritivas. Deste modo, este problema se destaca como um importante desafio técnico para as universidades envolvidas na resolução de problemas ambientais (Araújo, Malpass, Urias, & Cunha, 2014).

Os resíduos e efluentes produzidos em todos os setores da indústria são diversificados na sua composição química, por isso podem ter componentes que possam influenciar nos fatores como toxicidade crônica, bioacumulação e carcinogenicidade demonstram a periculosidade dos efluentes industriais. A acumulação sistêmica de alguns desses compostos presentes nas águas residuais pode resultar em danos ao meio ambiente e à saúde humana (Araújo et al., 2014; Rebelato, Madaleno, & Rodrigues, 2014).

Consequente a isso, as adversidades ocasionadas pela poluição e contaminação, provenientes, especialmente das indústrias, aumentam as exigências ambientais e impõem a necessidade de otimização dos próprios processos industriais e o assim o descarte dos resíduos gerados (Araújo *et al.*, 2014).

Com isso, o projeto de intervenção, objeto deste relato, foi denominado “Águas Residuais Zero” e classificado como projeto de ecoinovação, tendo em vista que, procuram apresentar inovações em processos produtivos, dentro do escopo ambiental, associado ao melhor desempenho financeiro. (Wilson, 2015). Esse projeto é relevante para a empresa que na safra 2014/2015 consumiu pouco mais de 41 milhões de m<sup>3</sup> de água no seu processo produtivo.

Sendo assim, a dimensão de maior destaque no projeto de ecoinovação é denominada como ecoeficiência. Essa dimensão é proposta por Barbieri, Vasconcelos, Andreassi, & Vasconcelos (2010) como a área de interseção entre os



objetivos organizacionais: econômicos e ambientais.

### 3.1 Procedimentos Metodológicos

Em função do contexto abordado e do objetivo proposto neste trabalho de intervenção, pode-se classificar metodologicamente este trabalho em: i) Natureza: Aplicada; ii) Finalidade: Descritiva; iii) Abordagem: Qualitativa; iv) Procedimento: Estudo de Caso; e v) Técnicas de intervenção: entrevistas, observação participante e análise de documentos.

O estudo de caso foi escolhido como procedimento metodológico em função da capacidade de permitir uma maior interação com fenômeno estudado. Neste caso investigado, o processo produtivo de uma usina sucroenergética, cujo escopo permitiu explorar informações em diferentes fontes e discuti-las com a literatura e com os próprios participantes, aproximando o conhecimento científico à realidade empírica (Yin, 2010).

Ressalta-se que, a escolha da usina foi intencional, pois esta atendeu ao perfil já assinalado e demonstrou interesse pelo trabalho, além da disponibilidade para obtenção dos dados.

A coleta de informações e dados foi realizada em fontes secundárias, por meio de documentos mantidos pela empresa e fontes primárias, por meio de visitas *in loco*, quando foi possível entrevistar o Diretor Industrial, responsável pelas orientações durante a visita, o gerente de processos e manutenção que apresentou o processo produtivo e o gerente de projetos, que apresentou as etapas de implantação do processo de água residual zero, além de ser possível observar de forma participativa o processo produtivo.

Neste estudo, as fontes de informação utilizadas foram: a) Relatórios da Administração, com a intenção de caracterizar a empresa estudada; b) Informações coletadas no site da empresa; c) Relatórios do projeto de águas residuais zero; d) Relatórios Técnicos de balanços hídricos; e) Relatórios Técnicos de Balanço de Massa

e Energia; f) Fluxograma de produção e balanço hídrico; g) Relatório técnico da condição das torres de resfriamento; e h) outros documentos pertinentes.

As visitas à empresa (*in loco*) ocorreram nos dias 03/03/2016 e 04/04/2016 por dois dos autores deste estudo. Nessas visitas, com duração total de 16 horas, estavam presentes dois consultores externos, especialistas no tema deste estudo, o que permitiu a triangulação no levantamento de dados entre os gestores da empresa, os documentos apresentados e os consultores externos. O diretor industrial da usina foi o responsável por orientar a visita, que envolveu a observação de processos, registros fotográficos e interlocução com operadores e supervisores de atividades.

Durante a visita foram coletados dados sobre os processos industriais que apresentam grande consumo de água, foram verificadas as fontes de captação de água e o atual sistema de reuso da água. Em reunião foram discutidos o escopo dos projetos de ecoinovação, a importância do programa de reuso da água e a necessidade de avanço tecnológico no parque industrial.

Em adição, os resultados deste trabalho foram discutidos com outros dois autores deste trabalho, como forma de aumentar a imparcialidade na análise e discussão dos resultados.

A partir dos dados coletados, empregou-se a análise qualitativa, por meio da técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (1991). Para isso, foram percorridas as etapas de pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados, inferência e interpretação dos dados coletados *in loco*.

A análise dos dados foi realizada de forma descritivo-qualitativa, que segundo Cooper e Schidler (2011) possibilitam captar a essência dos processos dinâmicos vivenciados por grupos sociais, possibilitando compreender com maior profundidade o comportamento do objeto de estudo.

Após a construção do estudo, os resultados foram apresentados em workshop com diferentes profissionais que contribuíram



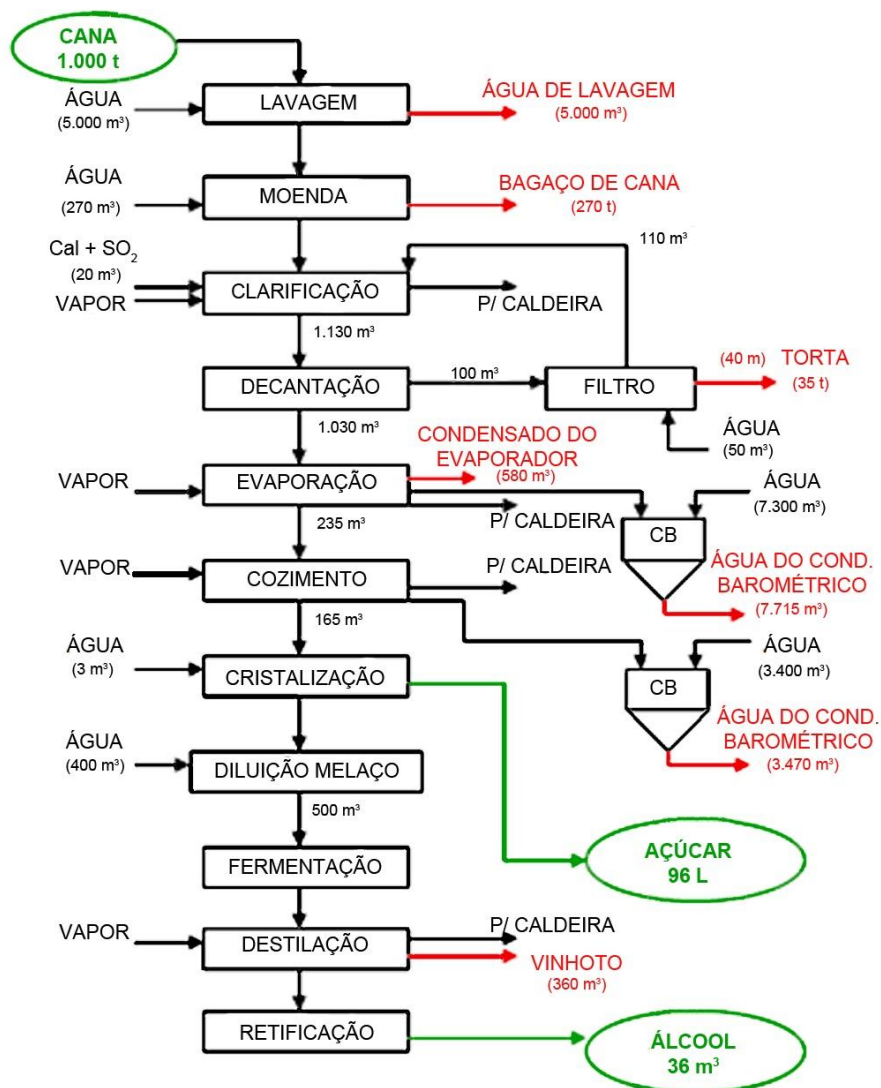
com críticas e sugestões; com efeito, uma nova revisão foi elaborada e submetida à apreciação do gestor da empresa e consultores que, por fim, também contribuíram com a versão final deste trabalho.

Algumas limitações na interpretação e, especialmente, na replicação deste trabalho devem ser atentados: i) os resultados são únicos para o contexto investigado, ii) há sempre a possibilidade de novas interpretações e perspectivas de projetos deecoinovação, por isso, tem-se ciência, de que não foi possível esgotar todas as possibilidades sobre o objetivo; iii) É possível que existam outras informações no cotidiano da empresa, que não

foram explorados no período da pesquisa, relativas ao processo de suprimento, gerenciamento de rotinas, ciclo da qualidade entre outras que exercem impacto na gestão de produção.

### 3.2 A Situação Investigada

Para identificação do ciclo produtivo, como apresentado na Figura 1, consiste em um fluxograma do balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool onde se visualiza os locais de utilização de água, bem como a geração de águas residuárias.



**Figura 1:** Fluxograma do balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool. (Fonte: CETESB, 2002).



A Figura 1 demonstra que, para cada 1.000 ton de cana *in natura* há necessidade média de 16.673 m<sup>3</sup> de água para ser empregada em diferentes etapas do processo. Não obstante, o processo produtivo gera 17.125 m<sup>3</sup> de água residuais, considerando a capacidade de moagem da empresa estudada em 2,4 milhões de ton na safra de 2015/2016; esse volume evidencia a importância ambiental e financeira de um sistema de circuito fechado que permita o reuso da água residual do processo e a correta destinação do excedente.

Segundo Ingaramo et al, (2009), a água necessária para atender às necessidades de processo produtivo sucroalcooleiro pode ser obtida a partir de duas fontes: a) Água a partir da própria cana, a qual é recuperada em diferentes operações dentro do processo (por ex. a evaporação, cristalização, refinaria); e b) Água de poços ou rios que são consumidas principalmente em condensadores barométricos, para a remoção de poeira na chaminé e purificadores, refrigeração das turbinas e máquinas.

Verificou-se que, a indústria estudada apresenta um sistema de gerenciamento de águas residuais na condição de mínima de captação, que varia de acordo com o *mix* de produção, isto é, quanto mais açucareira (quanto mais açúcar for produzido), mais água tem-se a disposição e menor será a sua captação.

Por meio da ecoinovação a indústria busca obter redução do consumo e redução na captação de água bruta, eliminação da possibilidade de despejo de águas residuais em locais inapropriados, redução da produção de águas residuais tanto no processo quanto nas paradas repentinas e durante períodos de chuva e redução nos efluentes gerados no processo de produção.

Considera-se a implantação do processo de água residual zero em 5 etapas:

**Etapas 1:** Levantamento de campo para verificação das condições operacionais da indústria, verificação dos processos que consomem mais água, verificação de

existência de algum sistema de tratamento implementado, verificação das fontes de captação de água, análise documental e de fluxogramas de processos.

**Etapas 2:** Quantificação, racionalização, reuso interno e redução ao mínimo das águas residuais.

**Etapas 3:** Elaboração do projeto básico para validação da vazão mínima das águas residuais, tratamento (decantação) e reuso.

**Etapas 4:** Verificação das possibilidades de reuso de água, identificação das tecnologias que deverão ser utilizadas, análise do retorno (ambiental, econômico, imagem da empresa) que o projeto trará, adequado à legislação.

**Etapas 5:** Implantação e acompanhamento do projeto, para verificação dos objetivos propostos.

Neste relato técnico considera-se as alternativas previstas nas etapas 3 e 4, sem descartar as condições industriais existentes e a análise de dados; todavia, em função da complexidade de informações técnicas e o próprio escopo do relato, objetivou-se concentrar atenção nas ecoinovações voltadas para a eliminação das águas residuais.

Deste modo, foi calculado para mensuração do balanço hídrico, a capacidade de produção atual da usina com moagem de 15 mil toneladas de cana por dia.

Os balanços foram elaborados em três condições de produtividade possíveis em que a cana (matéria-prima) pode ser processada durante a safra. Essas condições envolvem o indicador Açúcar Redutor Total (ART), que é um percentual da cana que representa a quantidade de açúcar presente na matéria-prima.

## ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

A partir da elaboração dos balanços de massa, energia e hídrico apresentam as premissas referentes a capacidade de produção atual da usina:



1) A situação 1 apresenta ART de 13% da cana, gerando 11.593 sacos de açúcar e 750 m<sup>3</sup> de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 36% açúcar e 64% etanol.

2) A situação 2 apresenta ART de 15,25% da cana, gerando 11.626 sacos de açúcar e 950 m<sup>3</sup> de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 30% açúcar e 70% etanol.

3) A situação 3 apresenta ART de 16% da cana, gerando 12.106 sacos de açúcar e 1000 m<sup>3</sup> de álcool hidratado por dia, sendo um *mix* de produção de 30% açúcar e 70% etanol.

Nestes cenários, conforme demonstrado na Tabela 1, têm-se a seguinte situação de captação de água e águas residuais:

**Tabela 1:** Quantidade de captação de água e água residual nas três situações

	Situação 1	Situação 2	Situação 3
ART % Cana	13	15,25	16
Captação (m <sup>3</sup> /h)	533	577	582
Captação (m <sup>3</sup> /TC)	0,85	0,92	0,93
Águas residuais (m <sup>3</sup> /h)	160	107	109

(Fonte: Elaborado pelos autores).

#### 4.1 Diagnóstico da Situação Atual

Nesta etapa foram identificados os setores da produção que apresentam grande volume de uso de água e a situação atual em que se encontram. A estratégia da empresa é identificar no sistema atual as perdas (de água e de eficiência operacional), a geração de água residual e os setores que apresentam baixo aproveitamento do sistema hídrico.

O diagnóstico (Quadro 1) foi construído a partir da análise de conteúdo, tomada por meio das entrevistas com os gestores entrevistados, sendo que, se utilizou como categorias de análise as etapas do processo. Ressalta-se que as informações tomadas nas entrevistas foram confrontadas com a observação do processo nas visitas, sendo que, a descrição apresentada é um resumo.



**Quadro 1:** Diagnóstico da situação atual

ETAPA ALVO DO PROCESSO	DESCRIÇÃO DO USO DA ÁGUA E NÃO CONFORMIDADES OBSERVADAS DURANTE O PROCESSO PRODUTIVO
Água residual da refinaria	Toda água é descartada para a lavoura como águas residuais.
Sistema do tratamento de água dos lavadores de gás das caldeiras	O atual sistema tem sérios problemas e faz do mesmo, um gerador de águas residuais, quando deveria ser um consumidor pela evaporação através das chaminés. Como consequência o lavador de gás não operará a contento elevando o desgaste nos exaustores e tubulações.
Água utilizada para lavagem de cana, limpeza embaixo da mesa de alimentação de cana e limpeza do esteirão metálico	Teoricamente a água utilizada para esta finalidade fica em circuito fechado, mas, como verificado, as caixas de decantação estavam cheias de sedimentos há algum tempo, nascendo vegetação nas caixas decantadoras. A bomba de recirculação estava desativada. Durante a visita, a água bruta estava sendo utilizada para limpeza do esteirão com vazão de 130 m <sup>3</sup> /h e depois era enviada a lavoura como água residual.
Sistema de resfriamento e utilização de condensado	Todo o condensado de V1 e amoniacal (V2, V3, etc.) é regenerado com caldo resfriado em torre e depois pode ser enviado a embebição ou para estação de tratamento de água da destilaria.
Bombas de vácuo	Muita água utilizada no selo das bombas de vácuo é descartada para a lavoura.
Sistema de água de lavagem de tela do filtro prensa	Atualmente 20 m <sup>3</sup> /h de água utilizada na lavagem de tela do filtro prensa é incorporada no processo pela caixa de dosagem, com isto 20t de vapor são necessários para sua evaporação, além do aumento da área do conjunto de evaporação
Água residual da lavagem da cana-de-açúcar	Á água residual industrial se mistura com água de lavagem de gases e lavagem de cana comprometendo sua qualidade. O sistema atual não tem sistema de segurança e em caso de anomalia se deposita em local não adequado.
Sistema de resfriamento da fábrica de açúcar	O <i>spray</i> de resfriamento trabalha em seu nível máximo de operação, transbordando com qualquer acréscimo de água, como ocorreu no dia da visita. Como opera cheio, seu volume morto é de aproximadamente 10.000 m <sup>3</sup> e de difícil tratamento. Este <i>spray</i> opera com água resfriada a 38°C fazendo com que cozedores operem a 80°C, degradando açúcares e gerando perdas enormes no processo
Recuperação de água e produto do piso da fábrica de açúcar	Toda água ou produto que cai no piso da fábrica de açúcar é incorporado a canaleta de água residual e enviada a lavoura.
Água de resfriamento de óleo e mancais do setor da caldeira	A água tratada utilizada para o resfriamento, cerca de 40 m <sup>3</sup> /h, é toda descartada para o setor de tratamento de água de fuligem e posterior descarte a lavoura.
Vazamentos	Inúmeros vazamentos, sendo alguns de elevada vazão na tubulação de água da captação, evidenciando problemas no sistema de qualidade e, com efeito, na manutenção da planta.
Água residual da destilaria	A água utilizada na limpeza das dornas e centrífugas são enviadas a volante, não gerando efluente. Para limpeza do resfriador de mosto é utilizado flegmaça que depois de utilizado é enviado a lavoura como água residual.

(Fonte: Elaborado pelos autores).

## 4.2 Proposta de Intervenção e Melhoria

A estratégia de ecoinovação da empresa é voltada para o investimento em tecnologias limpas, a partir da P+L. Neste caso, com o

reuso das águas residuais e consequente redução na captação de água, a empresa vislumbra a possibilidade de ganhos ambientais, sociais e econômicos. Nesse estágio, foram propostas as melhorias em



cada setor identificado como mostra o Quadro 1 e assim, verificadas as possíveis melhorias do sistema atual por meio da minimização das perdas e determinação da melhor utilização da água residual gerada, como infere o Quadro 2.

**Quadro 2:** Diagnóstico da intervenção e resultados do projeto

ETAPA ALVO DO PROCESSO	ECOINOVAÇÃO	DESCRIÇÃO DA ECOINOVAÇÃO
Água Residual da refinaria	Ecoinovação tecnológica de processo	Utilizar água da regeneração das resinas como reposição do sistema de lavagem de águas das caldeiras e a água de limpeza dos filtros de areia enviar para as torres de resfriamento de condensado e reutilizar como água bruta.
Sistema do tratamento de água dos lavadores de gás das caldeiras	Ecoinovação tecnológica de gestão	Realizar estudo detalhado do atual sistema, instalações e acessórios para identificar falhas e realizar as mudanças necessárias para a operação normal do conjunto. Desativar as caixas de alvenaria (caixas de decantação) que tem custo elevado para limpeza, além de serem geradoras de água residual e quando esvaziadas para limpeza, geram aproximadamente 1.300 m <sup>3</sup> de água.
Água utilizada para lavagem de cana, limpeza embaixo da mesa de alimentação de cana e limpeza do esteirão metálico	Ecoinovação tecnológica de processo	Tanto a lavagem de cana como a limpeza embaixo da mesa alimentadora com água estão em desuso já há algum tempo, devendo, portanto, serem desativadas. Para limpeza da esteira deve-se utilizar bicos de alta pressão cujo consumo cai para 40 m <sup>3</sup> /h que depois da limpeza do esteirão poderá ser reutilizado na embebição como é feita em várias unidades industriais
Sistema de resfriamento e utilização de condensado	Ecoinovação tecnológica de gestão	Manter sistema atual verificando a real capacidade das torres
Bombas de vácuo	Ecoinovação tecnológica de produto e processo	Montar sistema de recuperação e enviar esta água para as torres de condensado a ser resfriado para posterior reutilização, devendo ser aumentada a capacidade das torres.
Sistema de água de lavagem de tela do filtro prensa	Ecoinovação tecnológica de processo	Instalação de um sistema de recirculação.
Água residual da lavagem da cana-de-açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Deve-se desativar sistema de lavagem de cana, com isto ficam à disposição 4 caixas de 1.500 m <sup>3</sup> cada, que ficariam assim distribuídas: - 1 (uma) caixa seria o pulmão de alimentação da bomba de recalque a lavoura; e - 3 (três) caixas como pulmão de segurança que seriam esgotadas pelas bombas existentes.
Sistema de resfriamento da fábrica de açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Substituir o spray por torres de resfriamento para resolver o problema de resfriamento e volume de água ou, pelo menos, fazer com que o spray trabalhe seco, o que não melhora a temperatura, mas pelo menos diminui o volume de água e a possibilidade de a todo o momento enviar água a lavoura.
Recuperação de água e produto do piso da fábrica de açúcar	Ecoinovação tecnológica de processo	Fazer sistema de canetas e pisos novos, instalar tanque e bomba de recuperação como no <i>layout</i> .
Água de resfriamento de óleo e mancais do setor da caldeira	Ecoinovação tecnológica de produto e processo	Como a água é de boa qualidade, esta deve ter uso mais nobre, como reposição de torres de resfriamento, no caso a da turbina de condensação que está próxima, portanto um sistema de captação deve ser montado.
Vazamentos	Ecoinovação tecnológica de gestão	Elaborar um programa de manutenção e programas de conscientização para eliminar prontamente quaisquer vazamentos, pois o volume observado era significativo.



Água residuais da destilaria	EcoInovação tecnológica de produto e processo	Na destilaria, a única água residuária é flegmaça, que assim como o condensado do Ecovin tem acidez fixa, fazendo com que o mesmo seja corrosivo. Dessa forma o flegmaça deve ser enviado a lavoura junto com a vinhaça.
------------------------------	---	--

(Fonte: Elaborado pelos autores).

Instalação de novas bombas no Tanque 2 de Água Bruta; 2) Adaptação de tanque existente para utilização como Tanque 2 de Água Bruta; 3) A atual rede de água bruta deve ter válvulas, separando a rede de modo a não permitir que água de reuso seja direcionada ao tratamento de água; 4) O Tanque 2 de Água Bruta será o responsável por alimentar a rede de água bruta com a instalação de novas bombas; 5) Adaptar decantador de caldo existente para operação no tratamento de águas residuais; 6) Substituição e realocação das tubulações de

águas residuárias que serão destinadas ao decantador; 7) Instalar bomba para captar água de descarte das torres de resfriamento dos geradores Turbo Gerador 1, Turbo Gerador 2 e Turbo Gerador 3 e recalcar ao decantador.

### 4.3 Resultados Preliminares e Potenciais

Após elaboração dos balanços de massa, energia, hídrico e realização da segunda visita *in loco* (3 meses depois), constatou-se os resultados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Captação de água e águas residuais após da implantação do projeto

	Situação 1	Situação 2	Situação 3
ART % Cana	13	15,25	16
Captação (m <sup>3</sup> /h)	407	478	483
Captação (m <sup>3</sup> /TC)	0,61	0,76	0,77
Águas residuárias (m <sup>3</sup> /h)	0	0	0

( Fonte: Elaborado pelos autores).

Pode-se observar com a implantação do programa de águas residuais zero, que teve reaproveitamento das águas do processo, com redução de até 150 m<sup>3</sup>/h ou 28% na captação, que fica com 379 m<sup>3</sup>/h (0,61 m<sup>3</sup> TC) referente ao ART 13% cana, que foi o cenário proposto com maior produção de açúcar. É importante lembrar que, quanto mais açucareiro estiver o processo, menor será a captação.

Assim como, na situação 2 houve uma redução de 17% da captação de água bruta no processo. Em relação à geração de águas residuais houve redução de 107 m<sup>3</sup>/h para 0 m<sup>3</sup>/h. Na situação 3, por sua vez, redução de 0,93 m<sup>3</sup>/TC para 0,77 m<sup>3</sup>/TC. Em relação à geração de águas residuais houve redução de 109 m<sup>3</sup>/h para 0 m<sup>3</sup>/h.

A proposta do programa de águas residuais zero conseguiu atender as expectativas, pois em todas as situações que a cana foi processada, houve redução na captação de água e não houve geração de águas residuais.

Quanto à eficiência operacional e redução de custos, a empresa almeja com a implantação, redução de gastos com recursos hídricos de 20%, equivalente com o que deixou de captar no meio ambiente natural, o que representaria uma economia de aproximadamente 7,4 milhões de reais ao ano, referente aos gastos com a captação de água bruta, bem como os custos para tratamento destas para entrada no ciclo produtivo e tratamento pós-consumo pela indústria. Deve-se considerar, também, a redução de gastos com insumos agrícolas



pelo aumento da utilização da vinhaça para fertirrigação.

Apesar do estudo detalhado e abrangente, foram identificados grandes

processos consumidores de água em que não foi possível melhorar a eficiência da captação de água, devido às condições e localização das instalações, como consta na Tabela 3.

**Tabela 3:** Processos não mensurados para captação de água

Processo	m <sup>3</sup> /h
Torre de resfriamento do TG 3	171
Torre de resfriamento da fábrica	82
Torre de resfriamento da destilaria	109
Torre de resfriamento do TG 1 / TG 1	14
Lavador de gás	54
Tratamento de Fermento	47
<b>Total</b>	<b>477 m<sup>3</sup>/h ou 0,76 m<sup>3</sup>/TC</b>

(Fonte: Elaborado pelos autores).

Os processos relatados na Tabela 3, que ainda demandam captação de água, apresentaram um menor consumo deste recurso, pois no agregado do processo industrial evidenciou-se menor utilização da água e a emissão zero de águas residuárias (Tabela 2).

Com a elaboração do Programa de Águas Residuais Zero, a indústria teve que realizar investimentos no montante total de R\$ 1,18 milhão em decantador, tanque, material de interligação, engenharia civil, elétrica e instrumentação, serviços de projeto montagem e licença e contingências.

### CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA SOCIAL

A água é um insumo essencial para as operações no setor industrial e uma variável importante na busca pelo aumento da eficiência das empresas. Consoante a esse cenário a indústria estudada está investindo em ecoinovação, por meio do projeto de redução das águas residuais e apresentou benefícios em três aspectos:

a) Benefícios ambientais: redução do impacto ambiental causado pelo lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, aumento da disponibilidade de água para

processos industriais com usos mais exigentes, reduzindo, conseqüentemente, a captação de água e possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.

b) Benefícios econômicos: otimização do uso da água garantindo melhor desempenho dos processos envolvidos, apresenta uma redução nos custos de produção, aumento da competitividade, conformidade em relação à legislação ambiental, o que favorece a inserção dos produtos em mercados internacionais e redução nos fatores de cobrança pelo uso da água.

c) Benefícios sociais: pelo fato do grande consumo de água na indústria, o reaproveitamento aumenta a disponibilidade de água na região em que se encontra a indústria, redução do impacto ambiental na região na qual está instalada, reduzindo riscos ecológicos e a saúde, bem como a ampliação de negócios para empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, melhora da imagem da indústria junto à sociedade.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi atendido, na medida em que a proposta de ecoinovações implantada pela usina trouxe benefícios. Foi possível evidenciar melhorias



nos processos de produção, no sistema de gestão (que foi necessário para controle e monitoramento do programa) e também em alguns equipamentos e instalações.

Como limitação da pesquisa, tem-se o método utilizado, que apesar de permitir maior interação e exploração do fenômeno, apresenta resultados restritos a unidade investigada, sendo que qualquer extrapolação precisa respeitar o contexto do setor e as características operacionais existentes. Assinala-se ainda, que o estudo não aborda todo o escopo da produção da cana-de-açúcar junto as suas dimensões agrícolas e de

distribuição e que podem ser alvos de ações integradas de ecoinovação para águas residuárias. A avaliação econômica dos benefícios assinalados não foi alcançada neste estudo e limita a abrangência das ecoinovações pontuadas para a dimensão econômica.

Como sugestões para trabalhos futuros, pretende-se analisar do desempenho ambiental gerado pelas águas residuais no processo produtivo e, além disso, mensurar a capacidade de criação de valor econômico das ecoinovações frente ao investimento realizado.

## REFERÊNCIAS

- Aloise, P. G., Nodari, C. H., & Dorion, E. C. (2016). Ecoinovações: um ensaio teórico sobre conceituação, determinantes e achados na literatura. *Interações*, 12(2), 278-289.
- Araújo, K. S.; Malpass, G. R. P., Urias, P. M., & Cunha, C. R. (2014). Processos Oxidativos Avançados: fundamentos e Aplicações no Tratamento De Águas Residuais e Efluentes Industriais. *Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, MG, Brasil, 5.
- Barbieri, J. C., Vasconcelos, I. F., Andreassi, T., & Vasconcelos, F. C. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, 50(2). pp. 146-154.
- Bardin, L. (1991). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2002). *A Produção Mais Limpa no Setor Sucroalcooleiro: Informações Gerais*. São Paulo: CETESB.
- Centro Nacional de Tecnologias Limpas. (2003). *Implementação de Programas de Produção Mais Limpa*. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS UNIDO/INEP.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2017). *Acompanhamento da safra brasileira 2016/17. Monitoramento agrícola – Cana-de-açúcar*. n. 4. Brasília : Conab, 2017.
- Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2011). *Métodos de pesquisa em administração*. Porto Alegre: Bookman.
- Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012). Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecological Economics*, 78, 112–122.
- Ingaramo, A., Heluane, H., Colombo, M., & Cesca, M. (2009). Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry. *Journal of Cleaner Production*, 17(4).
- Jacomossi, R., Demajorovic, J., Bernardes, R., & Santiago, A. L. (2016). Fatores determinantes da ecoinovação: um estudo de caso a partir de uma indústria gráfica brasileira. *Gestão & Regionalidade*, 32(94), 101-117.
- Kemp, R., & Pearson, P. (2007). *Final report MEI project about measuring eco innovation*. Brussels: DG Research, European Commission.



- Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997* (1997). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República.
- Rebelato, M. G., Madaleno, L. L., & Rodrigues, A. M. (2014). Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas: um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. *Revista de Administração da UNIMEP*, 12(3), 122-151.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation: eco-innovation research and the contribution from ecologicaleconomics. *Ecological Economics*, 32(2), 319-332.
- Roscoe, S., Cousins, P. D., & Lamming, R. C. (2016). Developing eco-innovations: a three-stage typology of supply networks. *Journal of Cleaner Production*, 112(3), 1948–1959.
- Sahu, O. P., & Chaudhari, P. K. (2015). The Characteristics, Effects, and Treatment of Wastewater in Sugarcane Industry. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(3), 435–444.
- Santos, D. F., Basso, L. F., Kimura, H., & Sobreiro, V. A. (2015). Eco-Innovation in the Brazilian Sugar-Ethanol Industry: a case study. *Brazilian Journal of Science and Technology*, 2(1), 1-15.
- Tseng, M., & Bui, T. (2017). Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. *Journal of Cleaner Production*, 140(3), 1376-1389.
- Wilson, J. P. (2015). The triple bottom line: Undertaking an economic, social, and environmental retail sustainability strategy. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 43(4/5), 432 – 447.
- Yin, R. K. (2010). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. (3ª. ed.). Porto Alegre: Bookman.