REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

UM ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL EM CONCORDÂNCIA COM A ISO 14001 PARA A REDUÇÃO DO USO DE ÁGUA EM SELAGEM DE BOMBAS DE POLPA EM UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE

A TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY STUDY IN ACCORDANCE WITH ISO 14001 FOR REDUCING WATER USE IN SEALING PULP PUMPS IN A PULP MILL.

Luana Biliatto Alonso Gil
Engenheira de Produção, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: luanabiliattogil@gmail.com

Elida de Paula Moraes Corveloni
Doutora em Engenharia Química
E-mai: elida.moraes@ufms.br

Elizangela Veloso Saes
Doutora em Gestão de Operações
E-mail: elizangela.saes@ufms.br

Sandra Cristina Marchiori de Brito
Doutora em Engenharia Elétrica
E-mail: sandra.brito@ufms.br

Resumo

A indústria de celulose caracteriza-se por um consumo hídrico expressivo, em particular nos sistemas de selagem de bombas de polpa, em que o descarte da água pós-uso gera repercussões ambientais. Neste contexto, apresenta-se esse artigo que estuda a viabilidade técnica e ambiental da redução do uso de água limpa para selagem em uma indústria de celulose no Brasil, em consonância com as diretrizes da norma ISO 14001. Para o desenvolvimento da pesquisa, empregou-se um estudo de caso, que fez uso de ferramentas da qualidade (ciclo PDCA, Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês) para a análise do consumo hídrico, associadas a aplicação de conceitos e princípios da economia circular para otimização da gestão dos recursos. Como principal resultado, destaca-se o reaproveitamento do condensado do processo de secagem, que se mostrou tecnicamente apto, levando a uma redução significativa tanto na demanda por água nova quanto no volume de efluente descartado. Em suma, o estudo demonstra que a adoção de práticas sustentáveis pode proporcionar redução operacional de até 23,1% do consumo de água limpa, também ganhos econômicos e ambientais substanciais, ao mesmo tempo em que consolida aos valores da empresa estudada.
Palavras-chave: Água de selagem; ISO 14001; Indústria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

Abstract

The pulp industry is characterized by significant water consumption, particularly in slurry pump sealing systems, where post-use water disposal generates environmental repercussions. In this context, this article studies the technical and environmental feasibility of reducing the use of clean water for sealing in a pulp mill in Brazil, in accordance with the guidelines of the ISO 14001 standard. The research employed a case study that utilized quality tools (PDCA cycle, Ishikawa Diagram, and 5 Whys) to analyze water consumption, combined with the application of circular economy concepts and principles to optimize resource management. The main result is the reuse of condensate from the drying process, which proved technically feasible, leading to a significant reduction in both the demand for fresh water and the volume of effluent discharged. In short, the study demonstrates that the adoption of sustainable practices can provide an operational reduction of up to 23.1% in clean water consumption, as well as substantial economic and environmental gains, while consolidating the values of the company studied.
Keywords: Sealing water; ISO 14001; Industry.

1. Introdução

A demanda hídrica possui um impacto significativo nos processos industriais, especialmente na indústria de papel e celulose, que se destacam pelo seu consumo de água. Segundo Pott e Estrela (2017), essa preocupação com os recursos naturais está inserida em um contexto histórico de crescente atenção às questões ambientais, intensificada desde a década de 1960 por meio do livro Primavera Silenciosa, quando tais temas passaram a integrar de forma central as agendas internacionais.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (1972), a Conferência de Estocolmo representou um marco inicial na construção de políticas ambientais globais, influenciando o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, na qual, passou a ser debatido de forma mais estruturada entre os países, influenciando políticas públicas, diretrizes corporativas e estratégias internacionais.

À medida que esses debates evoluíram, tornou-se evidente a necessidade de padronizar as práticas ambientais. Nesse cenário, a International Organization for Standardization (ISO), em português, Organização Internacional para Padronização, começou a revisar as normas vigentes e avaliar seus efeitos no comércio internacional. Conforme apontam Vizcaino e Peixoto (2021), a ISO

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

14001, voltada à gestão ambiental nas organizações, sobressai entre as normas ambientais por adotar o ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Verificar e Agir), promovendo a melhoria contínua dos processos. Essa abordagem permite a padronização de procedimentos e incentiva uma competitividade pautada na sustentabilidade.

Diante desse cenário, destaca-se a importância de estratégias de gestão ambiental que assegurem a eficiência hídrica sem comprometer a produtividade. Desse modo, o compromisso ambiental vai além do cumprimento das exigências legais, tornando-se uma vantagem competitiva. Isso porque, as empresas que adotam práticas sustentáveis, são mais bem avaliadas no mercado por consumidores e investidores atentos às questões socioambientais. Além disso, tais ações reforçam o alinhamento a ISO 14001, agregando valor aos sistemas de gestão ambiental (SGA) e impulsionando melhorias operacionais.

Nesse sentido, as organizações industriais precisam repensar seu modelo de produção. A mobilização social crescente por práticas mais sustentáveis, visível em manifestações e fóruns, expõe a insustentabilidade do modelo linear tradicional de "extrair, produzir, consumir e descartar" (Buxton, 2016). Para enfrentar esses desafios, a Economia Circular se destaca, propondo uma mudança fundamental nos paradigmas de consumo e produção (Leitão, 2015).

Ao contrário do modelo linear, a Economia Circular defende a criação de ciclos produtivos fechados, em que os recursos, produtos e materiais são mantidos em circulação pelo maior tempo possível. Em vez de gerar resíduos, busca-se reaproveitá-los como insumos em novos processos, reduzindo a extração de recursos naturais e minimizando impactos ambientais.

No âmbito do setor de celulose, essa temática adquire contornos ainda mais relevantes, essa indústria é emblemática pela intensa dependência de recursos naturais, sobretudo água, sendo considerada uma das maiores consumidoras desse insumo entre as atividades produtivas. Esse insumo é empregado em diversas fases do processo fabril, o que confere à gestão hídrica um papel

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

estratégico e essencial para a eficiência operacional. No Brasil, a escassez de recursos hídricos em regiões industriais impulsionou a criação da Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Essa legislação reconhece a água como um bem de valor econômico e uso múltiplo, estabelecendo princípios para seu uso racional e sustentável.

Dentro desse contexto fabril, destaca-se o sistema de selagem de bombas, que, embora fundamental para preservar a integridade dos equipamentos e garantir sua operação adequada, consome consideráveis volumes de água potável, que frequentemente são descartados logo após o uso, especialmente quando as bombas operam de forma contínua (Vilela, 2023). Esse cenário revela um ponto crítico e, ao mesmo tempo, uma oportunidade concreta para implementar melhorias voltadas à sustentabilidade operacional.

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo analisar, por meio de um estudo de caso, os fatores que contribuem para o consumo de água nos sistemas de selagem de bombas em uma planta de celulose. A partir dessa análise, busca-se propor soluções viáveis que permitam a redução desse consumo, integrando tanto as exigências da norma ISO 14001 quanto os fundamentos da Economia Circular, promovendo uma gestão ambiental mais eficiente, inovadora e alinhada às práticas sustentáveis contemporâneas.

2. Revisão da Literatura

2.1 Gestão da qualidade

Definir o conceito de qualidade é uma tarefa complexa, uma vez que não existe uma definição única e universal. Conforme Reeves e Bednar (1994), a qualidade pode assumir diferentes significados dependendo do contexto, configurando-se, assim, como um fenômeno multifacetado. Ainda assim, é amplamente reconhecido que a qualidade exerce um impacto positivo tanto nas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

organizações quanto na vida dos indivíduos (Gomes, 2004).

Somente no século XX, no entanto, que a qualidade passou a ser um foco efetivo para as empresas. Com o crescimento do consumo e a expansão dos mercados, as organizações foram obrigadas a adotar uma postura mais rigorosa e cuidadosa em relação à gestão da qualidade (Oakland, 1994).

Atualmente, essa gestão é conduzida por meio da Gestão da Qualidade Total (GQT), que aborda a qualidade de maneira estratégica, considerando não apenas as exigências dos clientes, mas também os fatores que influenciam a competitividade no mercado. De acordo com Carpinetti (2016), o termo “qualidade” tornou-se presente em diversos contextos, sendo frequentemente associado a atributos de produtos, como durabilidade e desempenho, ou à capacidade destes de satisfazer as necessidades dos usuários. Contudo, a gestão da qualidade ultrapassa a simples conformidade de produtos ou serviços e a satisfação do cliente, abrangendo métodos e práticas que visam a aplicação sistemática de procedimentos de controle e garantia da qualidade (Rose, 2005).

Para Machado (2012), o controle da qualidade evoluiu para um processo de gerenciamento estratégico, com foco na competitividade do mercado por meio da satisfação e superação das expectativas dos clientes. A garantia da qualidade fundamenta-se no planejamento e na sistematização dos processos, apoiada por documentação clara e orientada ao objetivo de “zero defeito”. Além disso, incorpora aspectos ambientais e o atendimento às normas ISO, que são cada vez mais exigidas por clientes locais e internacionais. Essa abordagem, denominada Gestão da Qualidade Total, desloca a ênfase da análise do produto para a criação de um sistema de qualidade integrado, tornando a responsabilidade pela qualidade um compromisso de toda a organização, e não apenas de um setor específico.

Dessa forma, a Gestão da Qualidade representa o conjunto de ações que as empresas planejam e organizam para garantir produtos e serviços que atendam às especificações técnicas e apresentem uma aparência atrativa (Marino, 2006).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

2.2 Ferramentas de apoio da qualidade

Para garantir uma avaliação de qualidade eficaz, que reconhece a qualidade como a precisa correspondência entre o planejamento e a execução, empresas precisam estabelecer critérios mensuráveis (Coelho; Silva; Maniçoba, 2016). Nesse contexto, as ferramentas da qualidade mostram-se indispensáveis.

Godoy (2009) define essas ferramentas como métodos utilizados para impulsionar melhorias e gerar resultados positivos, otimizando a presença de produtos em mercados competitivos. Complementando essa visão, Giocondo (2011) destaca que as ferramentas da qualidade são empregadas por todos na organização, sendo particularmente úteis na análise das fases do ciclo PDCA. Elas não só servem para identificar e aprimorar a qualidade, auxiliando no alcance de metas e objetivos, mas também têm como principal propósito eliminar ou reduzir as fontes de variação controláveis em produtos e serviços.

Paladini e Carvalho (2012) reforçam a importância dessas ferramentas, descrevendo-as como recursos simples para selecionar, implementar e analisar modificações em processos produtivos por meio de avaliações objetivas, com o objetivo primordial de gerar melhorias. Entre as ferramentas adotadas neste estudo, destacam-se o Diagrama de Ishikawa, a técnica dos Cinco Porquês e a abordagem metodológica PDCA.

2.2.1 Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA (Plan–Do–Check–Act), teve origem no século XX, a partir dos estudos de Taylor sobre a metodologia plan-do-see, aplicada ao planejamento das etapas dos processos (Ishikawa, 1993). Segundo Quinquio (2002), o Ciclo PDCA, também denominado Ciclo de Deming ou Ciclo da Qualidade, constitui uma metodologia eficaz voltada ao diagnóstico, à análise e à previsão de falhas nas organizações. Sua principal finalidade é oferecer suporte à resolução de problemas de forma estruturada.

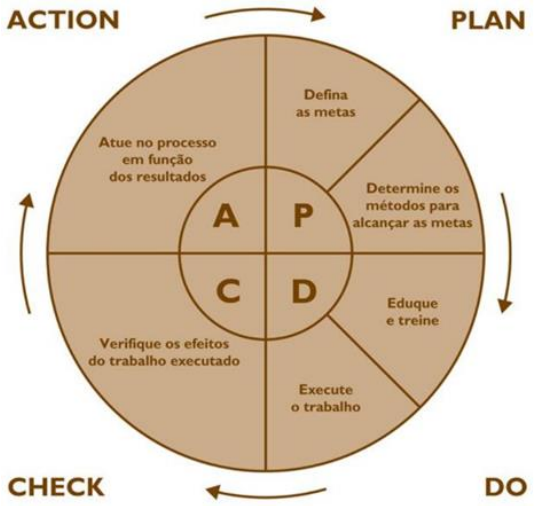
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

Entre os instrumentos direcionados à melhoria contínua, o PDCA destaca- se por impulsionar ações sistematizadas que aceleram a obtenção de resultados superiores, contribuindo, assim, para a sustentabilidade e o desenvolvimento organizacional.

De acordo com Juran (1994), o gerenciamento de processos envolve três funções gerenciais fundamentais: o planejamento, o controle e a melhoria. Essas funções compõem a chamada Trilogia da Qualidade, ou Trilogia de Juran, englobando, respectivamente, o planejamento da qualidade, o controle da qualidade e o aprimoramento da qualidade. Essa abordagem orienta o processo decisório por meio de etapas estruturadas, como pode ser observado na Figura 1, exigindo o emprego de técnicas adequadas para a coleta e o tratamento das informações necessárias ao seu desenvolvimento (Werkema, 1995).

Figura 1 - Ciclo PDCA de controle de processos



Fonte: Campos, V.F

Observa-se que a Figura 1 subdivide o ciclo em quatro fases interdependentes. Na etapa Plan, são definidas as metas e estabelecidos os

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

métodos para alcançá-los. Em Do, ocorre a capacitação das equipes e a execução das atividades conforme o planejamento. A fase Check é dedicada à verificação dos resultados obtidos frente ao que foi proposto, permitindo a identificação de desvios ou oportunidades de melhoria. Por fim, em Action, implementam-se as ações corretivas e de aprimoramento com base na análise dos resultados, reiniciando-se o ciclo de forma contínua. Esta representação é fundamental para destacar o caráter iterativo e sistemático da ferramenta, essencial para o aperfeiçoamento progressivo dos processos.

2.2.2 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, é uma ferramenta gráfica amplamente empregada em análises de qualidade. Stefanovic et al. (2014) definem o diagrama de causa e efeito como um recurso eficaz para categorizar e apresentar possíveis origens de um problema específico ou de uma característica de qualidade, permitindo identificar e estruturar causas conhecidas ou potenciais de falhas ou de baixa qualidade.

Embora o diagrama não aponte diretamente a causa raiz, ele é essencial para direcionar a investigação, pois permite um maior foco e clareza na busca por soluções. Conforme destaca Miguel (2006), o Diagrama de Ishikawa representa, de maneira visual, os fatores que exercem influência sobre um efeito específico, sendo uma importante ferramenta para análises sistêmicas.

A construção do diagrama parte da definição clara do problema a ser investigado, seguida pela identificação das possíveis causas, agrupadas em seis categorias tradicionais, conhecidas como os “6M”: Mão de obra, Máquinas, Medições, Matéria-prima, Métodos e Meio ambiente (Miguel, 2006). Após essa etapa, realiza-se uma análise crítica com o objetivo de determinar as causas mais prováveis e, a partir delas, propor ações corretivas para mitigação ou solução do problema.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

2.2.3 5 Porquês

O Método dos 5 Porquês é uma ferramenta de qualidade fundamental, originária do Sistema Toyota de Produção. Seu principal objetivo é identificar a causa principal de um problema, que, muitas vezes, está oculta por trás de sintomas óbvios (Ohno, 1997).

Para atingir essa identificação, a técnica investigativa dos 5 Porquês envolve questionar repetidamente a causa de um problema. Cada resposta obtida serve como base para a formulação da próxima pergunta, em um processo contínuo que se estende até que a causa raiz seja finalmente encontrada. Apenas após a compreensão aprofundada do problema é que se deve questionar “De que forma ele pode ser solucionado?”, buscando a eliminação ou o controle de suas causas raízes (Slack et al., 1997; Shingo, 1988).

Além de sua eficácia em desvendar a origem dos problemas, Werkema (1995) salienta a flexibilidade do Método dos 5 Porquês. Ele destaca que a técnica pode ser aplicada em qualquer cenário, tanto para resolver questões já existentes quanto para otimizar processos de trabalho em empresas.

Ainda sobre sua aplicação, Weiss (2011) complementa que, apesar de ser chamado de "5 Porquês", o método permite flexibilidade no número de indagações. Isso significa que a quantidade de "porquês" pode variar, sendo menor ou maior que cinco, adaptando-se à necessidade específica para desvendar a causa fundamental de um problema.

2.3 Sistema de Gestão Ambiental e a ISO 14001

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é uma abordagem estruturada adotada pelas organizações para monitorar, controlar e reduzir os impactos ambientais de suas atividades, promovendo a melhoria contínua do desempenho ambiental. Ele inclui elementos como política ambiental, planejamento, definição

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

de responsabilidades, controle de processos e avaliação de resultados, com isso ele provê orientações para alcançar os objetivos ambientais (ABNT, 2004).

De acordo com Barbieri (2007), entre as iniciativas de autorregulamentação estão as normas voluntárias para Sistemas de Gestão Ambiental que passaram a ser desenvolvidas de forma mais intensa em meados de 1990. Entre os modelos disponíveis, destaca-se a norma ISO 14001, reconhecida mundialmente, com presença em 171 países e mais de 300.000 certificações ativas. Essa norma foi desenvolvida pela International Organization for Standardization (ISO), que estabelece diretrizes para que as organizações possam integrar práticas sustentáveis à sua rotina operacional, alinhando o desempenho ambiental às estratégias corporativas (Campos e Melo, 2008).

Segundo Matthews (2003), a norma é baseada no Ciclo PDCA, que assegura a melhoria contínua por meio do planejamento, execução, verificação e correção de ações ambientais, na qual, se dá por meio das seguintes atividades e processos:

a) planejamento: políticas ambientais, impactos ambientais e metas ambientais;

b) execução: atividades ambientais e documentação ambiental;

c) verificação: auditorias ambientais e avaliação de desempenho ambiental;

d) ação: treinamento ambiental e comunicação ambiental.

A aplicação do PDCA envolve a definição de políticas e metas ambientais, monitoramento por indicadores de desempenho (KPIs), conformidade com a legislação e revisão periódica de processos. Além de atender aos requisitos legais, a certificação ISO 14001 incentiva a busca por soluções produtivas mais eficientes e sustentáveis, promovendo credibilidade junto ao mercado e à sociedade.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

2.4 Gestão Sustentável e Lei n°9.433/1997

O conceito de desenvolvimento sustentável ganhou proeminência na década de 1980, impulsionado pelo crescente debate global acerca das questões ambientais, promovido, sobretudo, pela Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse contexto, destaca-se a atuação da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida por Gro Harlem Brundtland, a qual consolidou uma definição amplamente aceita de sustentabilidade: o atendimento das necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem as suas próprias demandas.

Em 1992, a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, foi um marco, com especialistas destacando a situação crítica dos recursos hídricos globais. Este evento sublinhou a urgência de políticas públicas para uma gestão hídrica racional e sustentável. Respondendo a essa demanda internacional, o Brasil, em 1997, promulgou a Lei nº 9.433, que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos. Segundo Santos (2012), essa legislação estabeleceu as diretrizes essenciais para uma gestão integrada e descentralizada das águas no país.

Conforme Matos (2000), a promulgação da Lei nº 9.433 dotou o Brasil de um sistema institucional e normativo dedicado ao controle, regulação e planejamento do uso dos recursos hídricos. Nesse novo panorama, a Administração Pública assume um papel crucial como gestora e reguladora desse insumo vital. Sua função é harmonizar os múltiplos interesses relacionados ao acesso e uso da água, incluindo abastecimento humano, produção industrial, irrigação agrícola e preservação ambiental.

3. Metodologia

Considerando o objetivo principal deste trabalho, que é identificar possíveis causas que estejam contribuindo para o consumo de água em sistemas de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

selagem de bombas em uma fábrica de celulose, adota-se um propósito exploratório, uma vez que se faz necessário o levantamento de informações para uma melhor compreensão do problema. Quanto à natureza, caracteriza-se como aplicada, pois o trabalho tem como intuito gerar um conhecimento para uma aplicação prática futura, envolvendo verdades e interesses locais (Prodanov; Freitas, 2013). A abordagem utilizada foi a qualitativa, destacando o papel do pesquisador em obter informações do fenômeno estudado segundo a visão dos indivíduos, bem como observar e coletar evidências que possibilitem interpretar o ambiente em que a problemática ocorre.

A partir das classificações anteriores, conclui-se que o método adequado a ser adotado é o estudo de caso. Este método de pesquisa, segundo Yin (2001), investiga um fenômeno dentro do seu contexto real, especialmente quando os limites entre eles não estão claramente definidos.

O estudo em questão foi realizado em uma fábrica de papel e celulose, no período de janeiro a maio de 2025, durante o processo de estágio do pesquisador que atuou no setor de meio ambiente industrial, o que facilitou o acesso às informações necessárias para o progresso da pesquisa. De modo ético, não será exposto o nome da empresa estudada, para isso será identificada como “Empresa X” de forma ilustrativa.

O problema explorado nesta pesquisa, refere-se ao consumo de água de selagem das bombas centrífuga, equipamentos essenciais para o funcionamento de uma fábrica de celulose. Segundo Vilela (2024), as bombas centrífugas são utilizadas em transferência de fluidos ao longo do processo, utilizam um selo líquido formado pela injeção de água. Esse selo impede a entrada de ar e a saída de fluido ao preencher quaisquer lacunas que possam comprometer a vedação. O intuito é identificar possíveis pontos de melhoria, no sentido de reduzir e/ou reaproveitar o consumo da água de selagem.

Dessa forma, o desenvolvimento desse trabalho, foi guiado pelo ciclo PDCA

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

na busca de soluções. Na primeira etapa foram coletados dados realizando-se observações in loco, com o apoio do analista da empresa fabricante das bombas de selagem, do analista de laboratório, dos operadores de área, dos operadores do sistema de controle, da equipe de Meio Ambiente e do técnico de caldeiraria. Essas visitas ao chão de fábrica ocorreram semanalmente, com duração média de três horas, permitindo ao pesquisador compreender o fluxo operacional e levantar possíveis causas do consumo de água.

Para organizar e visualizar melhor essas causas, elaborou-se o Diagrama de Ishikawa e a análise da causa raiz foi aprofundada com a ferramenta 5 Porquês. Cada solução potencial foi então minuciosamente estudada, considerando sua viabilidade técnica, operacional e os requisitos de segurança das bombas.

4. Resultados e Discussão

Esta seção se dedica à apresentação e à análise aprofundada dos resultados obtidos no estudo de caso, abordando a aplicação estratégica de diversas ferramentas de gestão da qualidade para identificar, diagnosticar e propor soluções para o desafio do consumo de água no sistema de selagem de bombas da Empresa X. A totalidade da investigação foi meticulosamente estruturada por meio do Ciclo PDCA, um paradigma de melhoria contínua reconhecido globalmente. Esta abordagem não apenas alinha-se intrinsecamente aos princípios da norma ISO 14001:2015 para sistemas de gestão ambiental, mas também se fundamenta nos preceitos da Economia Circular. O objetivo central é ir além da otimização de processos, visando primordialmente a promoção de uma gestão hídrica mais robusta e sustentável no complexo ambiente industrial de produção de celulose.

4.1 Caracterização do Estudo de Caso: O Desafio Hídrico na Produção de Celulose

O presente estudo de caso foi desenvolvido nas instalações da Empresa X,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

uma planta industrial de destaque no setor de produção de celulose branqueada de eucalipto. A escolha dessa unidade não ocorreu de forma aleatória, mas foi fundamentada na expressiva demanda hídrica envolvida em seus processos produtivos, o que a torna um cenário ideal para a investigação de oportunidades de otimização no uso da água. Diante dessa realidade, a gestão eficiente dos recursos hídricos se configura não apenas como um desafio operacional, mas também como uma estratégia essencial para a competitividade e a sustentabilidade da organização.

O foco principal da análise recaiu sobre o sistema de selagem das bombas de polpa, já que esse consumo independe da produção, diferente das outras metas do processo que são definidas por $m3/tonelada$, além de ser um processo que possui componentes cruciais para a operação da planta. Essas bombas, compostas essencialmente por rotor e voluta, convertem energia elétrica em energia mecânica, garantindo o bombeamento eficiente e seguro. Na indústria de celulose, são utilizadas especificamente bombas de polpa, projetadas para movimentar misturas de sólidos e líquidos, como a suspensão fibrosa da polpa de celulose, elemento central no processo produtivo.

Conforme destacado por Warman (1998), essas bombas exigem sistemas de vedação eficazes para impedir o vazamento da polpa, o que protege os componentes internos e garante a estabilidade operacional. A norma técnica NBR 16676:2018 estabelece os critérios para os sistemas de vedação de eixos em bombas centrífugas, reforçando a necessidade de selos mecânicos ou sistemas de injeção de água como forma de evitar a entrada de ar e a fuga de fluido bombeado. O método mais utilizado é o sistema de selagem por injeção de água, no qual a água preenche os espaços entre os componentes da bomba, promovendo vedação, resfriamento e lubrificação.

Entretanto, apesar de sua importância técnica, o sistema de selagem constitui um ponto crítico de ineficiência hídrica. A água utilizada no processo, que deve ser

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

isenta de partículas e impurezas para assegurar a proteção dos componentes, é proveniente de fonte potável e, após cumprir sua função, é integralmente descartada, sem qualquer mecanismo de recirculação ou reaproveitamento. Esse modelo linear de “usar e descartar” contraria os princípios da Economia Circular, que preconizam a reinserção contínua dos recursos nos processos produtivos, e fere os fundamentos legais do uso racional da água, conforme disposto na Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil.

A permanência desse modelo resulta em impactos significativos para o balanço hídrico da planta, uma vez que eleva o volume de captação de água doce e gera maior quantidade de efluentes, que exigem tratamento e descarte adequado, ampliando os custos operacionais e a pressão ambiental. Dessa forma, a identificação e a mitigação dessa ineficiência tornam-se imperativas, não apenas por razões ambientais, mas também como um vetor de inovação e melhoria contínua na gestão industrial da água.

4.2 Aplicação do Ciclo PDCA para a Gestão da Eficiência Hídrica: Uma Abordagem Integrada

Para sistematicamente abordar o problema do consumo de água, a análise e a subsequente formulação de soluções foram metodologicamente estruturadas em torno do Ciclo PDCA, um dos pilares da filosofia de melhoria contínua, amplamente aplicado em sistemas de gestão da qualidade (como a ISO 9001) e ambiental (ISO 14001). A aplicação do PDCA permite uma abordagem iterativa e sistêmica para a resolução de problemas e o aprimoramento de processos. Para enriquecer e aprofundar cada fase do ciclo, foram empregadas ferramentas da qualidade, tais como o Diagrama de Ishikawa (para identificação de causas) e a técnica dos 5 Porquês (para desvendar causas-raiz).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

4.2.1 Planejar (Plan): O Diagnóstico Aprofundado e a Dissecação das Causas

A fase de Planejamento constituiu o alicerce deste estudo, sendo fundamental para estabelecer uma abordagem estruturada e eficiente na busca pela redução do consumo de água de selagem nas bombas. Inicialmente, foi realizado um diagnóstico minucioso da situação atual, por meio de medidores eletromagnéticos permanentes, complementados por medidores ultrassônicos portáteis para validação cruzada, permitindo a coleta sistemática de dados no e em tempo real de consumo hídrico nas linhas críticas do processo. Foram realizadas entrevistas com operadores e técnicos de manutenção, com o objetivo de compreender a rotina operacional, possíveis desvios e conhecimentos tácitos sobre o funcionamento do sistema de selagem.

Como parte do levantamento das causas do problema, foram utilizadas ferramentas consagradas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa, que permitiu mapear causas potenciais em categorias como: métodos, máquinas, materiais, mão de obra, meio ambiente e medidas. Posteriormente, essas causas foram aprofundadas com a aplicação da técnica dos 5 Porquês, buscando chegar à raiz dos fatores que contribuíam para o uso excessivo de água.

Durante esta etapa, foram também considerados requisitos legais aplicáveis e diretrizes da ISO 14001, assegurando que qualquer proposta de melhoria estivesse em conformidade com os aspectos e impactos ambientais identificados no sistema de gestão ambiental da empresa. Com base nesses dados e análises, foi possível delimitar possíveis problemas, estabelecer metas realistas de redução e planejar ações corretivas e preventivas alinhadas ao contexto organizacional e às necessidades de sustentabilidade do processo.

4.2.2 Levantamento Crítico do Consumo Hídrico e Suas Implicações

A primeira e crucial etapa do diagnóstico consistiu na medição da vazão de água de selagem em diversos pontos operacionais da planta. As observações

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

iniciais revelaram que o consumo hídrico não era uniforme, variando significativamente no decorrer dos meses. Além considerando um período extenso, a estratégia de coleta levou em conta diversas condições operacionais da planta, como variações na carga produtiva, paradas programadas, oscilações sazonais e diferentes regimes de operação. Isso garantiu que o conjunto amostral refletisse com precisão a variabilidade real do processo.

A transferência anual atenua o impacto de variações circunstanciais ao distribuir como distribuição ao longo de todo o ciclo, garantindo que eventos isolados não afetem de maneira desproporcional os resultados finais. Do ponto de vista estatístico, a elevada quantidade de observações confere robustez às estimativas da média populacional, reduzindo a influência de variações pontuais e aumentando a confiabilidade dos resultados. Nesse contexto, a média mensal de consumo de água de selagem foi de 231,76 m^3/h, obtida por meio da média aritmética das medições diárias realizadas ao longo do período analisado, 365 dias do ano de 2024. O desvio padrão foi estimando em 2,1 m^3/h e o intervalo de confiança de 95% para a média foi estimado em ±0,22 m^3/h, demonstrando elevada precisão estatística. As equações utilizadas para esses cálculos podem ser encontradas em Larson e Farber (2015).

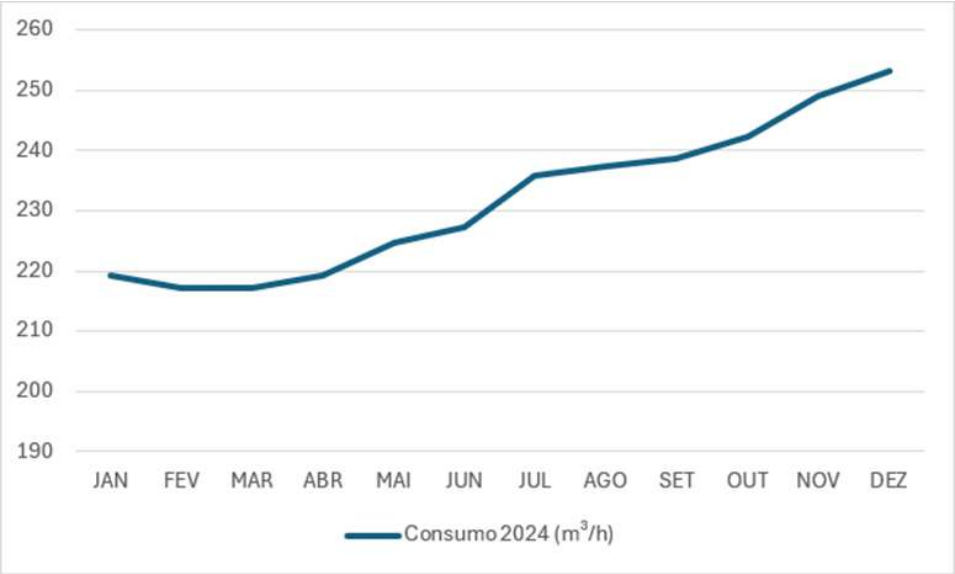
Sob a perspectiva da sustentabilidade industrial, observa-se que esta prática linear de consumo e descarte contraria diretamente os princípios da Economia Circular, que preconiza a minimização do descarte e a manutenção do valor dos recursos em ciclos contínuos de uso e reuso. A **Figura 2** reforça essa constatação ao evidenciar um padrão de aumento progressivo no consumo de água de selagem ao longo de 2024, mesmo na ausência de mudanças estruturais no processo, como aumento da quantidade de bombas ou ampliação da capacidade instalada. Tal comportamento indica ineficiência sistêmica no uso do recurso hídrico,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

evidenciando oportunidade concreta para implementação de estratégias de recirculação e otimização do consumo.

Figura 2 - Consumo de Água de Selagem na Empresa X em 2024 (m³/h).



Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Estudo de Causas-Raiz: A Sinergia do Diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês

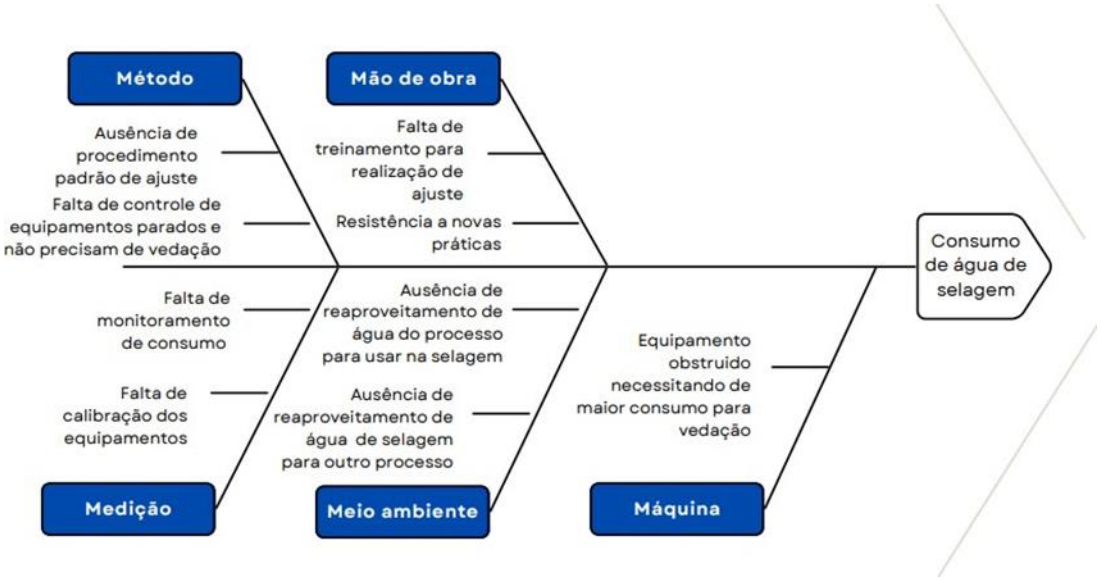
Para estruturar as causas do consumo excessivo de água e, consequentemente, fundamentar o desenvolvimento de um plano de ação eficaz, foi empregado o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe. Esta poderosa ferramenta gráfica permitiu não apenas identificar, mas também categorizar os múltiplos fatores críticos de influência que contribuíam para o problema central. Os fatores foram organizados em cinco categorias tradicionais dos "6M": Mão de Obra, Métodos, Máquinas, Meio Ambiente e Medição. O “M” Materiais, não foi contemplado pois para o estudo do problema analisado não envolve o tópico de forma relevante. A Figura 3 apresenta

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

o Diagrama de Ishikawa elaborado, visualizando as complexas relações entre as causas potenciais e o efeito indesejado, que é o consumo excessivo de água de selagem no sistema de bombas.

Figura 3 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria Própria

A análise detalhada do Diagrama de Ishikawa revelou que os fatores mais impactantes no consumo de água, segundo informações levantadas pela gerência, eram:

a) Método: a ausência de procedimentos operacionais padronizados para o ajuste das bombas era um fator preponderante. Isso resultava em variações significativas nas práticas de selagem entre diferentes operadores e turnos, levando a ajustes inconsistentes e, consequentemente, ao desperdício de água. Máquina: Duas deficiências principais foram identificadas. Primeiramente, a falta de reaproveitamento da água de selagem nas bombas implicava que essa água fosse diretamente

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

descartada, impedindo qualquer tentativa de recirculação. Em segundo lugar, a ausência de estudos e iniciativas para o reaproveitamento de outros fluxos internos de água da planta, que poderiam ser utilizados para a selagem, indicava uma lacuna na abordagem de economia circular; e

b) Mão de Obra: foi constatada uma lacuna no controle sobre as bombas que estavam inativas. Mesmo quando uma bomba não estava em operação e, portanto, não necessitaria de vedação constante, o fluxo de água de selagem permanecia ativo, gerando um consumo contínuo e desnecessário.

Para aprofundar ainda mais a investigação das causas-raiz de cada problema identificado no Diagrama de Ishikawa e garantir que as soluções fossem direcionadas aos pontos mais fundamentais, foi aplicada a técnica dos 5 Porquês. Esta abordagem iterativa e inquisitiva permite ir além dos sintomas superficiais, desvendando as camadas subjacentes de causalidade até se chegar à raiz do problema, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – 5 Porquês

	1° Porquê	2° Porquê	3° Porquê
Causa 1	Ausência de prcedimento padrão de ajuste	Falta de identificação de selagem necessária em cada bomba	Falta de mão de obra do fabricante para calcular o consumo de cada bomba
Causa 2	Ausência de reaproveitamento de água de selagem para outro processo	Ausência de coletores	Ausência de estudo para implementar
Causa 3	Falta de controle de equipamentos parados e não precisam de vedação	Falta de controle devido a alta quantidade de bomba	Falta de tecnologia
Causa 4	Ausência de reaproveitamento de água do processo para usar na selagem	Falta de conhecimento de água do processo para reaproveitar	Ausência de estudo

Fonte: Autoria Própria

O Quadro 1 traz os resultados da aplicação da ferramenta dos 5 Porquês, utilizada para aprofundar a análise das causas relacionadas ao consumo excessivo de água de selagem. Em todas as causas analisadas, a causa fundamental foi identificada no terceiro Porquê. A partir dos questionamentos sucessivos, foi

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

possível perceber que, embora os problemas iniciais parecessem diversos, como a falta de controle de equipamentos parados, a ausência de procedimentos padronizados ou o não reaproveitamento da água, todos eles apontam, ao final, para causas mais profundas e estruturais. Entre elas, destacam-se a ausência de dados técnicos específicos para cada bomba, a limitação na realização de inspeções devido à alta quantidade de equipamentos, a falta de estudos para embasar ações corretivas e a escassez de tecnologia ou mão de obra especializada. Esses resultados mostram que não se trata apenas de corrigir falhas pontuais no dia a dia da operação, mas sim de repensar a forma como o sistema é gerido, planejado e monitorado. O quadro, portanto, chama a atenção para a necessidade de soluções mais integradas e sustentáveis, capazes de atuar diretamente nas raízes do problema.

4.3 Executar (Do): Ações Estratégicas para a Eficiência Hídrica

Com o diagnóstico aprofundado e a identificação precisa das causas-raiz em mãos, a fase "Executar" (Do) do Ciclo PDCA concentrou-se na proposição e, idealmente, na implementação das soluções mais adequadas. Estas soluções foram concebidas em alinhamento com os objetivos de redução do consumo hídrico e com os requisitos da ISO 14001:2015, que estabelece diretrizes para Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) eficazes, incluindo: a definição de objetivos e metas mensuráveis (cláusula 6.2), o tratamento de riscos e oportunidades ambientais (cláusula 6.1), o monitoramento e medição de indicadores ambientais (cláusula 9.1) e a análise crítica pela direção para revisão de desempenho (cláusula 9.3). As propostas foram desenhadas para atacar diretamente as causas identificadas e priorizadas pelo Diagrama de Ishikawa e pelos 5 porquês, visando a minimização do impacto ambiental.

Foram identificadas propostas de soluções para cada causa encontrada, como apresentados nos tópicos a seguir.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

4.3.1 Causa 1 - Solução 1: Padronização Operacional do Ajuste das Bombas

O problema da ausência de um procedimento operacional padronizado para o ajuste da vazão de água nas bombas de selagem foi identificado como uma causa-raiz significativa para o desperdício, evidenciado pelo Diagrama de Ishikawa na categoria "Método". A falta de um guia claro resultava em ajustes inconsistentes e excesso de vazão. A solução proposta foi a implementação de um sistema de etiquetas padronizadas a serem afixadas diretamente nas bombas. Essas etiquetas contêm a vazão recomendada de água para a selagem, servindo como um guia visual e prático para os operadores.

Esta iniciativa demonstra um alinhamento direto com a ISO 14001:2015, que enfatiza a necessidade de controle operacional para gerenciar aspectos ambientais significativos e garantir a conformidade. Além disso, a padronização reflete os princípios da ISO 9001:2015, que aborda a importância da medição e calibração do uso do recurso caso exceda o consumo necessário. Ao padronizar o ajuste, a empresa não só reduz o desperdício de água, mas também melhora a qualidade da operação, minimiza a variabilidade do processo e promove uma cultura de conformidade e eficiência. O objetivo é que cada operador realize o ajuste de forma consistente, evitando o uso excessivo de água.

4.3.2 Causa 2 - Solução 2: Instalação de Coletores para Reuso da Água de Selagem

A análise do ciclo de vida da água de selagem, corroborada pelas investigações via Diagrama de Ishikawa (categoria "Máquina"), revelou que, após cumprir sua função, essa água era integralmente descartada, representando uma perda de recurso e um aumento no volume de efluentes. Para reverter essa ineficiência sistêmica e promover ativamente os princípios da Economia Circular, a segunda solução proposta consiste na instalação estratégica de coletores em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

pontos onde a água de selagem é atualmente dispensada.

Esses coletores seriam projetados para captar eficientemente a água de selagem, permitindo que ela seja direcionada para reutilização em outros processos da planta que não exigem água de alta pureza. Exemplos de aplicação incluem a lavagem de pisos, processos de limpeza em geral ou em torres de resfriamento. A implementação bem-sucedida desta solução demanda a colaboração ativa dos operadores, cujo conhecimento prático do fluxo da água na planta é indispensável para identificar os locais ideais para a instalação dos coletores e para a escolha dos materiais mais adequados e duráveis, já que na Empresa X existem tanques destinados a coleta desse processo de selagem, destinando essa água para outros processos da fábrica.

4.3.3 Causa 3 - Solução 3: Controle de Equipamentos Inativos com Uso de Tecnologia SmartFlow

A terceira causa-raiz identificada, principalmente na categoria "Mão de Obra" e relacionada à "Máquina" (ausência de controle automatizado), foi o desperdício gerado por bombas inativas que, mesmo sem estarem em operação, mantinham o fluxo de água de selagem ativo e contínuo. Para mitigar este problema de consumo desnecessário, propõe-se a instalação de válvulas inteligentes, especificamente a tecnologia SmartFlow, em bombas selecionadas. O SmartFlow é particularmente eficaz em bombas que operam em temperaturas abaixo de 60°C. Seu princípio de funcionamento é reter a água no sistema de selagem enquanto a bomba está inativa, liberando-a (descartando ou direcionando para reúso) apenas quando a temperatura excede um limite pré-definido. Isso garante a proteção térmica da bomba sem o desperdício contínuo de água.

Esta solução tecnológica está diretamente alinhada com os princípios da ISO 14001:2015, que instiga as organizações a buscar a proteção do meio ambiente e a melhoria de seu desempenho ambiental através da gestão eficaz de riscos e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

oportunidades. Ao automatizar e otimizar o controle do fluxo de água de selagem, o SmartFlow contribui significativamente para a eficiência no uso dos recursos hídricos, evitando o consumo desnecessário e fortalecendo a sustentabilidade da operação. Considerando que a vazão antes da instalação é de 4L/min e que a vazão após a implementação do Smartflow será reduzida a 0L/min, a economia em um mês atingirá o valor de 172.800L/mês por bomba, evidenciando uma redução notável na vazão.

4.3.4 Causa 4 - Solução 4: Estudo de Reaproveitamento de Fluxos Internos

Com o foco na avaliação da possibilidade de reaproveitamento de fluxos internos como água de selagem, analisou-se três tipos de águas do processo que são descartadas como efluente:

a) rejeito da osmose: trata-se da água residual gerada no sistema de purificação por osmose reversa, que é utilizado para remover impurezas da água por meio de pressão aplicada sobre uma membrana semipermeável. Essa água, que não atravessa a membrana, contém alta concentração de impurezas, de modo que a membrana não consiga purificar essa água, por isso, é descartada como rejeito;

b) tanque de neutralização: refere-se à água residual proveniente dos processos que possuem pH que não atendem os parâmetros ambientais, com isso, não podem ser descartados como efluentes, para ajustar essa água residual, deve-se tratar esse processo de modo que o pH seja ajustado em tanques específicos.

c) condensado da secagem em eventos: é a água condensada que se forma a partir do vapor utilizado no processo de secagem da polpa de celulose. Após o retorno das máquinas após paradas, esse condensado é descartado para evitar riscos de contaminação da celulose, já que pode conter resíduos indesejados do sistema.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

Observa-se que não há qualquer forma de reaproveitamento das águas residuais consideradas. Essa iniciativa está alinhada com os princípios da norma 14.001/2015, que reforça o equilíbrio entre as necessidades ambientais e socioeconômicas, alinhando com a ideia de economia circular, surgindo do princípio de reaproveitar o processo, o que difere na operação atual.

As análises amostrais foram realizadas no laboratório da unidade da Empresa X em diferentes períodos para que fosse possível identificar se os valores realmente foram representativos. Os resultados das análises estão resumidos no Quadro 2, em que na última linha do quadro, apresenta-se os limites dos parâmetros analisados recomendados para a água de selagem.

Quadro 2 – Análise de água do processo

Fluxo	Teor de Ferro (mg/L)	Sílica (mg/L)	Dureza Total (°dH)	Sólidos Totais (mg/L)
Rejeito da osmose	0,006	45	4,08	0
Tanque de neutralização	0,002	36	0,78	-
Condensado da secagem em eventos	0,005	0,006	0	0
Teor necessário	**<1,0**	**<10**	**<10**	**<10**

Fonte: Autoria Próprio

Analisando os dados, foi possível identificar que o condensado da secagem obteve os melhores parâmetros, garantindo a qualidade necessária para esse processo, com potencial de vazão de 200 m³/h por máquina (duas máquinas no total). No entanto, sua alta temperatura (90°C) requer resfriamento para cerca de 40°C (recomendação do fabricante) antes do uso no processo de selagem. Dessa forma, a seguir será feito um cálculo aproximado da água de resfriamento necessária para viabilizar o uso do efluente “condensado da secagem em eventos” como água de selagem.

4.3.4.1 Cálculo da Água de Resfriamento Necessária

Segundo Bassalo (1992) o conceito de calorimetria foi definido por Black quando identificou que cada corpo tem a sua capacidade de absorver calor, desse

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

modo, a capacidade de calor recebida por um corpo e a mudança de sua temperatura são influenciadas por sua propriedade específica. Sendo assim, Black definiu a seguinte equação:

$$Q = m \times c \times \Delta T \qquad (1)$$

Em que:

Q: quantidade de calor ou energia térmica transferida para aquecer ou resfriar a substância (em joules (J));
m: massa da substância (quilogramas (Kg));
c: calor específico da substância (em kJ/Kg°C)
ΔT: variação de temperatura (em °C).

Dessa forma, a Equação (1) será considerada para o cálculo da quantidade de água necessária para que o efluente em questão, à temperatura de 90°C, alcance a temperatura ideal de aproximadamente 40 °C.

Primeiramente, calcula-se o total de energia (calor trocado) considerando o resfriamento de 1 quilograma (kg), ou 1 litro (L), de condensado (água já no estado líquido), utilizando água limpa à temperatura ambiente de 25°C. Adotando o valor do calor específico da água, c, como sendo 4,18 kJ/Kg°C, por substituição direta à Equação (1), tem-se:

$$Q = 1 \times 4{,}18 \times (90 - 40)$$
$$Q = 209\ kJ$$

Após determinar a quantidade de energia térmica transferida para resfriar o efluente considerado, calcula-se a quantidade de água de resfriamento, m, a partir da Equação (1), porém agora considerando a temperatura da água da fábrica (25°C) e a temperatura alvo (40°C). Assim, tem-se:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

$$209 = m \times (40 - 25)$$

$$m = 3{,}33\ Kg$$

Portanto, seriam necessários 3,33 kg de água fria para resfriar 1 kg de condensado, resultando em 4,33 L de mistura destinada à selagem. Ressalta-se que essa estimativa foi obtida sob premissas conservadoras, desconsiderando perdas térmicas naturais e dissipações ao longo do sistema. Em condições reais de operação, tais efeitos contribuem para a redução da carga térmica efetiva, implicando menor demanda de água fria para atingir a temperatura requerida. Dessa forma, o volume calculado configura cenário de dimensionamento seguro, sendo esperado que o consumo real seja inferior ao atualmente praticado com água de captação, o que reforça a viabilidade técnica e ambiental da solução proposta.

4.3.4.2 Análise de sensibilidade operacional:

Para avaliar a robustez do processo frente a variações de temperatura do condensado, mantendo a água de resfriamento a 25°C e temperatura final de 40°C:

Temperatura do condensado (°C)	Água necessária (kg)	Redução (%)
85	2,75	24,1
90	2,83	26,1
95	2,92	25,5

Observa-se que, mesmo com oscilações típicas de operação, o reaproveitamento de condensado permanece viável, garantindo uma economia significativa de água e redução da carga térmica nos processos subsequentes.

4.3.4.3 Análise Preliminar de Risco Operacional

Além da análise térmica e da consistência dos dados levantados, a proposta de utilizar o condensado como água de selagem exige uma avaliação prévia dos possíveis riscos operacionais. Essa etapa é fundamental para compreender como

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

a mudança pode impactar a confiabilidade do sistema e a estabilidade do processo produtivo. Mais do que identificar ganhos ambientais e redução no consumo hídrico, é necessário antecipar eventuais efeitos técnicos decorrentes da alteração das condições originais de operação.

Entre os pontos de maior atenção está o desempenho dos selos mecânicos das bombas. Mesmo que o condensado apresente características semelhantes às da água tratada, pequenas variações em parâmetros como composição química, condutividade ou presença de sólidos dissolvidos podem alterar o regime de lubrificação entre as faces do selo. Ao longo do tempo, essas variações podem influenciar o desgaste dos componentes e a temperatura de operação, sobretudo considerando o regime contínuo típico do processo industrial.

Outro aspecto relevante diz respeito ao potencial risco de corrosão interna. Alterações no pH, presença de oxigênio dissolvido ou mudanças na composição química do fluido podem afetar tanto materiais metálicos quanto elastoméricos presentes nas bombas e nas tubulações. Embora a probabilidade desse cenário seja considerada moderada, seu impacto pode se tornar expressivo caso não haja monitoramento preventivo adequado e acompanhamento sistemático das condições do fluido.

Também merece atenção a questão microbiológica. O condensado é inicialmente gerado a aproximadamente 90 °C, condição que naturalmente inibe a presença de microrganismos. No entanto, após o resfriamento para cerca de 40 °C, temperatura recomendada para operação, cria-se uma faixa térmica que, em situações de estagnação, pode favorecer o desenvolvimento microbiológico. A eventual formação de biofilme pode comprometer a eficiência térmica do sistema, aumentar incrustações e exigir intervenções de manutenção mais frequentes.

Sob o ponto de vista térmico, oscilações na eficiência do sistema de resfriamento também devem ser consideradas. Caso a temperatura de operação ultrapasse o limite recomendado pelo fabricante, pode haver aumento da carga

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

térmica sobre os selos mecânicos, reduzindo sua vida útil. Esse risco, entretanto, pode ser controlado por meio de monitoramento contínuo de temperatura e adoção de indicadores operacionais específicos.

Diante desse cenário, recomenda-se que a implementação ocorra de forma gradual, iniciando-se por uma fase piloto cuidadosamente acompanhada. A coleta sistemática de indicadores de desempenho e a revisão periódica das condições operacionais permitem ajustes antes da consolidação definitiva da mudança. Essa abordagem reduz a exposição a falhas inesperadas e assegura que a solução seja incorporada de maneira segura, alinhada aos princípios de confiabilidade industrial, gestão de riscos e sustentabilidade técnica e ambiental.

4.4 Verificar (Check): Monitoramento Rigoroso e Avaliação de Desempenho

A etapa de Verificação no ciclo PDCA é crucial para a melhoria contínua. É nela que se avalia, sistematicamente, a eficácia das soluções implementadas, comparando os resultados obtidos com os objetivos traçados na fase de planejamento. Embora este estudo foque na proposição de soluções, é fundamental detalhar como essa etapa seria conduzida na prática, garantindo a confiabilidade e a sustentabilidade dos ganhos operacionais e ambientais. A análise de resultados envolverá o acompanhamento minucioso de métricas específicas para cada solução proposta.

Para a padronização operacional, a eficácia será avaliada por meio de auditorias internas periódicas, verificando a adesão dos operadores aos novos procedimentos e a correta utilização das etiquetas de vazão nas bombas. Além disso, a coleta de dados sobre o consumo de água de selagem pós-padronização permitirá quantificar a redução alcançada, comparando-a com registros históricos.

A observação da frequência e do tempo destinado a ajustes nas bombas fornecerá evidências sobre a melhoria da eficiência operacional e a mitigação de retrabalho. A percepção dos operadores também será valorizada como ferramenta qualitativa de monitoramento, identificando possíveis entraves ou lacunas na

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

aplicação prática das rotinas.

No caso da instalação de coletores de reuso da água de selagem, o desempenho será monitorado pela medição contínua do volume de água captado e reutilizado em outros processos. Para isso, serão instalados dispositivos de medição de vazão para calcular precisamente a economia de água potável.

Adicionalmente, análises periódicas da qualidade da água coletada serão realizadas para assegurar sua conformidade físico-química com os parâmetros exigidos pelos processos de destino, prevenindo comprometimentos operacionais.

Em relação ao controle de bombas inativas com a tecnologia SmartFlow, a verificação de desempenho incluirá a instalação de sensores de temperatura e vazão, possibilitando a análise em tempo real do comportamento do sistema. A comparação dos dados coletados após a implantação com os registros históricos permitirá aferir, de forma objetiva, a eficácia da solução na redução do consumo de água. A geração de relatórios periódicos, com indicadores de desempenho hídrico, será essencial para mensurar o retorno do investimento e justificar a manutenção ou expansão da iniciativa.

Quanto ao reaproveitamento de fluxos internos, especificamente do condensado proveniente da secagem, que apresentou as melhores características de qualidade, a análise térmica indicou que, para resfriar 1 litro de condensado de 90°C para 40°C utilizando água de resfriamento a 25°C, seriam necessários aproximadamente 3,3 litros de água fria da fábrica. Este cálculo resultou em uma economia potencial de 23,1% no consumo total, ou seja, o consumo seria reduzido de 23,76 m³/h para 178,2 m³/h. O monitoramento contínuo dessa solução contemplará o controle rigoroso da temperatura e da qualidade da água, além da avaliação do desempenho dos sistemas de resfriamento ou trocadores de calor utilizados.

A análise desses dados é fundamental para validar a viabilidade técnica e econômica da proposta, bem como para subsidiar decisões sobre a ampliação ou

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

replicação em outras áreas da planta industrial. Assim, a fase de verificação cumpre o papel de sustentar o processo decisório com base em evidências concretas, permitindo ajustes, correções e validações. Ela reforça o compromisso da organização com a melhoria contínua, a gestão ambiental eficiente e a conformidade com os requisitos da norma ISO 14001:2015

4.5 Agir (Act): Correção, Padronização e Impulso à Melhoria Contínua

A fase de Ação do ciclo PDCA é quando os aprendizados das etapas anteriores se consolidam, transformando os resultados da verificação em ações corretivas, preventivas ou de melhoria. É nesse momento que padronizamos as práticas bem-sucedidas, corrigimos desvios e fortalecemos a cultura de inovação e sustentabilidade dentro da organização.

No que se refere à padronização operacional, se os resultados indicarem baixa adesão por parte dos operadores ou uma economia hídrica inferior ao projetado, ações corretivas imediatas serão implementadas. Isso inclui a oferta de treinamentos adicionais, qualificações periódicas e ajustes nos procedimentos operacionais para torná-los mais claros, acessíveis e alinhados à realidade do chão de fábrica. A escuta ativa dos operadores, por meio de canais formais de feedback, servirá como um insumo crucial para identificar gargalos e oportunidades de aprimoramento no processo de padronização.

Em relação à instalação dos coletores de reaproveitamento de água, caso sejam identificados volumes de reutilização abaixo do esperado ou inconformidades na qualidade da água coletada, uma análise aprofundada das causas será conduzida. As possíveis ações corretivas podem incluir a realocação dos coletores, a instalação de sistemas de filtragem ou pré-tratamento, e até mesmo a reavaliação dos pontos de reuso mais adequados às características da água disponível, sendo que a decisão final será orientada pela relação entre o custo das adequações e o benefício ambiental obtido, assegurando a eficiência do

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

investimento.

Para o sistema SmartFlow, se os dados apontarem para um desempenho abaixo do previsto, serão realizados ajustes nos parâmetros de operação, como a sensibilidade do sensor de temperatura ou a lógica de controle automatizado. Manutenções preventivas e calibrações periódicas dos sensores garantirão a precisão e a confiabilidade do sistema a longo prazo, reforçando seu papel como uma ferramenta inteligente de gestão hídrica.

No tocante ao reaproveitamento do condensado da secagem, se a temperatura ainda representar uma barreira significativa para o uso pleno, serão analisadas alternativas técnicas como a instalação de trocadores de calor mais eficientes ou sistemas de resfriamento complementares. A viabilidade econômica dessas soluções será cuidadosamente avaliada, ponderando os custos de implantação, manutenção e operação frente aos benefícios em termos de economia de água e redução de carga térmica nos processos subsequentes. Se o resfriamento completo não for exequível para todas as aplicações, o condensado poderá ser redirecionado para usos que tolerem temperaturas mais elevadas, como lavagem de pisos, alimentação de torres de resfriamento ou outros usos industriais menos exigentes, promovendo, assim, o aproveitamento parcial do fluxo.

Além das ações corretivas específicas para cada solução, a fase de Ação também abrange a institucionalização das boas práticas identificadas. Isso significa a incorporação dessas práticas aos padrões operacionais da empresa e sua eventual replicação em outras áreas da planta. A elaboração de relatórios de lições aprendidas e a divulgação interna dos resultados positivos são cruciais para fortalecer a cultura organizacional voltada à sustentabilidade, à inovação e à melhoria contínua. Ao assegurar que os avanços não sejam pontuais, mas sistemáticos e duradouros, essa etapa reafirma o compromisso da organização com os princípios da ISO 14001:2015, com a economia circular e com uma gestão

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

ambiental moderna, eficiente e responsável.

4.5.1 Influência da Solução nos Indicadores Ambientais Auditáveis

A implementação das soluções propostas de recirculação da água de selagem, reaproveitamento do condensado e utilização do sistema SmartFlow, impactam diretamente indicadores ambientais mensuráveis e auditáveis no âmbito do Sistema de Gestão Ambiental, conforme diretrizes da ISO 14001:2015.

O principal indicador afetado é o consumo específico de água (m^3/tonelada de celulose produzida), cuja redução evidencia ganho de eficiência hídrica e melhoria do desempenho ambiental do processo. A diminuição da captação de água bruta também influencia o indicador de volume total captado (m^3/mês), reduzindo a pressão sobre recursos hídricos naturais e fortalecendo a conformidade com condicionantes legais e outorgas.

Adicionalmente, o aumento da taxa de recirculação interna impacta o indicador de percentual de reuso hídrico (%), permitindo rastreabilidade objetiva da evolução do projeto ao longo do tempo. Esse indicador pode ser auditado por meio de medições em pontos de entrada e saída, registros operacionais e relatórios consolidados de utilidades.

No caso do condensado de secagem, seu reaproveitamento contribui para redução indireta do volume de efluentes gerados e da carga térmica descartada, influenciando indicadores como volume de efluente tratado (m^3/mês) e eficiência térmica do processo.

A integração desses dados aos relatórios gerenciais e ao painel de KPIs ambientais permite comprovação objetiva da melhoria contínua, assegurando rastreabilidade documental, evidência para auditorias internas e externas e alinhamento com metas estratégicas corporativas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

Dessa forma, a solução proposta não apenas reduz impactos ambientais, mas altera de maneira mensurável e verificável os indicadores de desempenho ambiental, consolidando ganhos sustentáveis e auditáveis no contexto industrial.

5. Conclusão

Este estudo focou na redução do consumo de água no processo de celulose, buscando reduzir a demanda hídrica no processo de selagem. Este foi o principal objetivo visando impulsionar a sustentabilidade ambiental e a eficiência operacional da planta.

Para isso, realizou-se visitas técnicas, medição em campo e análise detalhada do processo produtivo. Isso permitiu mapear os pontos críticos de consumo e quantificar o volume de água utilizado exclusivamente para selagem. Identificou-se que essa água, que até então era totalmente descartada sem reaproveitamento, representava não apenas um consumo de água potável, desalinhado com os princípios da gestão ambiental sustentável, mas também uma expressiva ineficiência operacional, refletida em altos custos e aumento da geração de efluentes líquidos residuais.

Com base nas análises, foram avaliadas alternativas para mitigar esse consumo. Entre as soluções propostas, o reaproveitamento do condensado gerado no processo de secagem da máquina de folha emergiu como a alternativa mais viável tecnicamente e eficaz ambientalmente. Embora esse condensado fosse previamente descartado sob a justificativa de possíveis limitações de qualidade, este estudo demonstrou que ele atende aos requisitos operacionais para a selagem das bombas de polpa. Para garantir sua eficácia, é crucial o monitoramento contínuo de parâmetros como vazão, pressão e características físico-químicas. Como demonstra nos tópicos 4.3.4 e 4.3.4.1, as análises evidenciaram o potencial desse condensado para substituir a água limpa, apresentando volume abundante e qualidade compatível com os padrões recomendados. Ele pode, inclusive, ser utilizado de forma combinada com a água limpa para maior estabilidade

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

operacional.

A implementação dessa proposta trará benefícios concretos e estratégicos para a organização. Destacando-se a redução significativa na geração de efluentes, o fortalecimento das práticas de economia circular (reaproveitando subprodutos internos), a diminuição dos custos operacionais com água potável e a melhora da imagem institucional, demonstrando compromisso com práticas industriais mais sustentáveis. A metodologia empregada, baseada nos princípios da Gestão da Qualidade, gestão eficiente dos recursos hídricos baseados na ISO 14001, explorando o conceito de Economia Circular, permitiu uma avaliação integrada dos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais da solução. Assim, provou-se que é totalmente possível aliar sustentabilidade, inovação tecnológica e ganhos operacionais em processos industriais complexos como o do setor de celulose.

Para estudos futuros, recomenda-se desenvolver e implementar um plano para garantir que todos os parâmetros críticos permaneçam dentro dos limites aceitáveis. Sugere-se, ainda, o acompanhamento contínuo do desempenho do sistema em médio e longo prazo, visando incorporar melhorias, adaptar o projeto a diferentes contextos operacionais e, eventualmente, replicar a prática em outras unidades e processos da cadeia produtiva da celulose. Este estudo reforça a premissa de que uma gestão ambientalmente responsável, tecnicamente embasada e estrategicamente integrada pode reduzir significativamente o consumo de recursos hídricos, minimizar impactos ambientais e promover a sustentabilidade na indústria contemporânea.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2004). NBR ISO 14001 - **Sistemas da Gestão Ambiental - Requisitos com Orientações para Uso.** Rio de Janeiro: ABNT.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DOS DIREITOS DA INFÂNCIA – ANDI. **Mudanças**

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

climáticas: informações e reflexões para um jornalismo contextualizado. Relatório Brundtland e a sustentabilidade. Brasília, 1993.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BASSALO, J. M. F**. A crônica do calor: calorimetria (The Heat Chronicle: Calorimetry).** Belém: Departamento de Física, Universidade Federal do Pará, [s.d.].

BONOMA, T. V. Case research in marketing: opportunities, problems, and process. Journal of Marketing Research, v. 22, maio 1985.

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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 17 mar. 2025.

CAMPOS, A.; MELO, R**. Gestão ambiental e ISO 14001.** São Paulo: Atlas, 2008.

CARPINETTI, L. C. R**. Gestão da qualidade: conceitos e técnicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
CARVALHO, A. M. C**. O uso do método PDCA e de ferramentas da qualidade na gestão da agroindústria no Estado de Mato Grosso do Sul.** 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Produção e Gestão Agroindustrial) – Universidade Anhanguera – Uniderp, Campo Grande, MS. Disponível em: http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1295/1017. Acesso em: 12 jun. 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. Disponível em: http://api.ning.com/files/.../BrundtlandNossoFuturoComum.pdf. Acesso em: 24 mar. 2025.

COSTA, M. A**. Análise de circularidade na indústria de papel e celulose.** 2023.

DE SOUZA COELHO, F. P.; DA SILVA, A. M.; MANIÇOBA, R. F. **Aplicação das ferramentas da qualidade: estudo de caso em pequena empresa de pintura.** REFAS: Revista FATEC Zona Sul, v. 3, n. 1, p. 2, 2016.

ERICKSON, F. **Métodos cualitativos de investigación. In: WITTROCK, M. C. La investigación de la enseñanza, II.** Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

1989.p. 195–299.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma.** São Paulo: Atlas, 2012. 361 p.

GIOCONDO, F. I. C. **Ferramentas básicas da qualidade: instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua**. São Paulo: Biblioteca24horas, 2011. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=CniEMu69GTgC. Acesso em: 14 jun. 2025.

GODOY, A. L. de. **Ferramentas da qualidade**. 2009. Disponível em: http://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-da-Qualidade/ferramentas- daqualidade.html. Acesso em: 14 jun. 2025.

GOMES, P. A. A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação. *Cadernos BAD*, v. 2, p. 6–18, 2004.

GUIMARÃES, E. L. **Aplicação do diagrama de Ishikawa na central de material esterilizado para a reorganização do setor**. 2019. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ISHIKAWA, K. **Controle da qualidade total: a maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

ISHIKAWA, K. **What is total quality control? The Japanese way**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985.

ISO. **ABNT NBR ISO 14001:2015 – Sistemas de gestão ambiental: requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1994.

KIRCHHERR, J. et al. Conceptualizing the circular economy (revisited): an analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 194, p. 107001, 2023. ISSN 0921-3449.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

LARSON, Ron; FARBER, Betsy. *Estatística Aplicada com Excel*. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

MARINO, L. H. **Gestão na qualidade e gestão no conhecimento: fatores chave para a produtividade e competitividade empresarial**. 3. ed. São Paulo, 2006. 654 p.

MATOS, E. L. de. Responsabilidade civil pela má utilização da água. In: **Seminário Internacional "Água, bem mais precioso do milênio"**, 2000, Brasília. Anais... Distrito Federal: CEJ, 2000. p. 79–84.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

NBR 16676:2018. **Sistemas de vedação para bombas centrífugas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

OAKLAND, J. **Gerenciamento da qualidade total**. São Paulo: Nobel, 1994.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano**. Estocolmo, 1972.

PALADINI, E. P.; CARVALHO, M. M. de (Coord.). **Gestão da qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. (Série ABEPRO).

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 271–283, jan./abr. 2017. doi:10.1590/S0103-40142017.31890021.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: Universidade Feevale, 2013.

QUINQUIOLO, J. M. **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva**. 2002. Taubaté/SP: Universidade de Taubaté.

REEVES, C.; BEDNAR, D. Defining quality: alternatives and implications. *Academy of Management Review*, v. 19, n. 3, p. 419–445, 1994.

RICHTER, S. et al. Estudo de caso: aplicação do Lean Manufacturing para aumento da produtividade de uma operação gargalo e redução no tempo de setup.

ROSE, K. H. **Projeto de gestão da qualidade: por que, o que e como?**. São Paulo, 2005. 41 p.

SANTOS, Luiz Alberto dos. **Análise do Código de Águas Minerais – Decreto- Lei nº 7.841/1945 e Lei de Gestão de Recursos Hídricos – Lei nº 9.433/1997 em face da Constituição de 1988: um caso de antinomia.** 2012. Monografia (Bacharelado em Direito) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2012.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, v. 335, p. 1–21, 2002.

SHINGO S**. Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects**. Nikkan Kogyo Shimbun/Factory Magazine, (Ed.). Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.

SLACK N. et al., **Administração da Produção.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas

S.A. 1997.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 04/02/2025
Vol: 13.01
DOI: 10.66104/6ky21d80
Pages: 1-40

STEFANOVIC, S. et al. Analysis of technological process of cutting logs using Ishikawa diagram. *Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering*, Romania, v. 7, n. 4, p. 92–97, 2014.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Meio Ambiente em Revista. Declaração de Dublin. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/dublin.htm. Acesso em: 31 maio 2025.

VIZCAINO, G. N. W.; PEIXOTO, C. M. S. A influência da ISO 14001 na política ambiental mundial. *Revista UniAraguaia*, v. 16, n. 3, p. 135–145, set./dez. 2021.

WARMAN. **Pump technology in pulp and paper industry**. 1998.

WEISS, A. E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. v. 1. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

WILKES, P.; TALABISCO, L. **Fundamentos de bombas centrífugas**. 2019.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução de Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.