

OTIMIZAÇÃO DO ÍNDICE DE PERDA DE LATAS (IPL) E CONSUMO DE CO₂ EM LINHAS DE PRODUÇÃO DE CERVEJARIA: UM ESTUDO DE CASO APLICADO

Carlos Eduardo da Silva Costa ⁽¹⁾ (2018000541@ifam.edu.br), Michaella Socorro Bruce Fialho ⁽²⁾ (michaella.fialho@ifam.edu.br)

⁽¹⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM); Departamento de Processos Industriais – DPI

RESUMO: *A indústria cervejeira enfrenta desafios constantes para aumentar a eficiência operacional e adotar práticas mais sustentáveis. Este estudo de caso investiga a otimização do Índice de Perda de Latas (IPL) e a redução do consumo de dióxido de carbono (CO₂) em uma linha de envase de uma cervejaria localizada em Manaus, Amazonas. A pesquisa foi motivada pela necessidade de reduzir custos, minimizar desperdícios e alinhar-se às metas de sustentabilidade ambiental. A metodologia adotada baseou-se no Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), utilizando ferramentas da qualidade e coleta de dados antes e após a intervenção, ao longo de dois períodos de 30 dias. A principal ação foi a instalação de uma barra de regulação manual de CO₂ na enchedora, substituindo o sistema anterior. Os resultados foram expressivos: o consumo de CO₂ caiu 81,5%, o IPL foi reduzido para 0,11% e a produtividade atingiu 99,7% da capacidade nominal. O estudo comprova que intervenções de baixo custo, quando bem aplicadas, podem gerar ganhos significativos em eficiência, sustentabilidade e cultura organizacional.*

PALAVRAS-CHAVE: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS, INDÚSTRIA DE BEBIDAS, ESTUDO DE CASO, CONSUMO DE CO₂.

OPTIMIZATION OF CAN LOSS INDEX (IPL) AND CO₂ CONSUMPTION IN BREWERY PRODUCTION LINES: AN APPLIED CASE STUDY

ABSTRACT: *The brewing industry constantly faces challenges to increase operational efficiency and adopt more sustainable practices. This case study investigates the optimization of the Can Loss Index (CLI) and the reduction of carbon dioxide (CO₂) consumption in a canning line of a brewery located in Manaus, Amazonas, Brazil. The research was motivated by the need to reduce costs, minimize waste, and align with environmental sustainability goals. The adopted methodology was based on the Method of Analysis and Problem Solving (MASP), using quality tools and data collection before and after the intervention, over two 30-day periods. The main action was the installation of a manual CO₂ regulation bar on the filler, replacing the previous adjustment system. The results were significant: CO₂ consumption dropped by 81.5%, CLI was reduced to 0.11%, and productivity reached 99.7% of nominal capacity. The study demonstrates that low-cost interventions, when well applied, can deliver substantial gains in efficiency, sustainability, and organizational culture.*

KEYWORDS: PRODUCTION ENGINEERING, PROCESS OPTIMIZATION, BEVERAGE INDUSTRY, CASE STUDY, CO₂ CONSUMPTION.

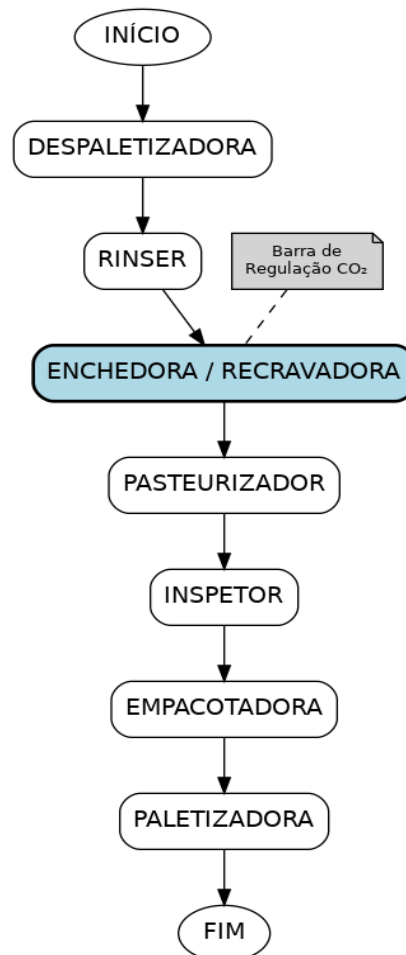
1. INTRODUÇÃO

A indústria de bebidas, em particular o setor cervejeiro, opera em um cenário de alta competitividade e crescente demanda por eficiência operacional e sustentabilidade (Pacheco & Correa, 2018; Do Nascimento, Diniz & Gabú, 2018). Nesse contexto, a otimização dos processos produtivos torna-se fundamental para garantir a qualidade do produto final, reduzir custos e minimizar o impacto ambiental. Dois indicadores críticos que influenciam diretamente esses aspectos são o Índice de Perda de Latas (IPL) e o consumo de dióxido de carbono (CO₂). O IPL mede o percentual de embalagens descartadas devido a falhas no processo, impactando diretamente os custos de produção e o desperdício de matéria-prima. Já o consumo de CO₂ está relacionado tanto à preservação da qualidade da bebida quanto ao impacto ambiental e ao custo de insumos na produção cervejeira (Kramer, 2010). Este trabalho descreve um estudo de caso prático focado na otimização desses indicadores em uma linha de produção de cervejaria, apresentando os principais desafios enfrentados e as soluções aplicadas para melhorar o desempenho do processo.

No caso da cervejaria estudada, o processo de produção de cerveja em lata é uma sequência complexa de etapas, que se inicia na despaletização das latas vazias e segue por fases críticas como lavagem, enchimento, recravação, pasteurização, inspeção, codificação, empacotamento e paletização. Cada uma dessas etapas desempenha um papel crucial na qualidade do produto final e na eficiência da linha, influenciando diretamente o IPL e o consumo de CO₂, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 1.

O objetivo principal foi reduzir o Índice de Perda de Latas e o consumo de CO₂ por meio de ajustes no processo de enchimento e recravação.

FIGURA 1. Fluxo Simplificado do Processo de Envasamento de Latas com Destaque para a Enchedora e o Ponto de Intervenção.



Fonte: Acervo da empresa (2025).

Historicamente, o enchimento das latas tem se mostrado um dos pontos mais críticos para o equilíbrio entre a redução do IPL e o consumo de CO₂ (Pacheco & Correa, 2018; Kramer, 2010). A enchedora utiliza CO₂ para purgar o oxigênio do espaço superior da lata (headspace), garantindo a preservação da qualidade da cerveja e evitando a oxidação, que pode comprometer o sabor e a estabilidade do produto. Por outro lado, uma dosagem insuficiente de CO₂ ou um enchimento inadequado resulta em latas mal cheias ou com excesso de oxigênio, que são descartadas pelo sistema de inspeção, impactando diretamente o IPL.

Antes das melhorias implementadas, os indicadores de desempenho da linha de produção apresentavam desafios consideráveis: a meta diária estabelecida para o IPL era inferior a 0,3%, e o consumo de CO₂ deveria permanecer abaixo de 1%. No entanto, os valores reais ultrapassavam 2% e

5%, respectivamente, evidenciando a necessidade de ajustes na linha de produção. Para mitigar esses problemas, uma solução inovadora foi implementada: a instalação de uma barra de regulação manual de CO₂ na saída do circuito da enchedora. Este mecanismo permite ajustes manuais mais precisos, eliminando a necessidade de paradas frequentes para regular o consumo de gás e contribuindo para a redução do IPL. Este avanço resultou na adequação dos índices às metas estabelecidas, promovendo uma significativa economia de CO₂ e a redução de rejeição de latas.

Este trabalho tem como objetivo otimizar os processos da enchedora e recravadora em uma linha de produção de cervejas, visando a redução do IPL e do consumo de CO₂.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é otimizar os processos da enchedora e recravadora em uma linha de produção de cervejas, com foco na redução do Índice de Perda de Latas (IPL) e do consumo de dióxido de carbono (CO₂). Para alcançar esse propósito, buscou-se identificar as principais causas de perdas por latas mal cheias, implementar uma barra de regulação manual para ajustes de CO₂, avaliar o impacto da solução nos indicadores de desempenho e, por fim, propor recomendações que possibilitem a replicação da metodologia em outras linhas de produção.

1.2 Justificativas

A competitividade no setor de bebidas exige uma otimização contínua dos processos produtivos, alinhada às exigências do mercado por produtos de alta qualidade e práticas sustentáveis. A presente pesquisa justifica-se pela necessidade crítica de reduzir perdas e aumentar a eficiência em linhas de produção de cervejarias, com foco nos indicadores de Índice de Perda de Latas (IPL) e consumo de CO₂. Ambos os indicadores impactam diretamente os custos operacionais e a sustentabilidade das operações industriais, tornando sua otimização um diferencial competitivo.

As perdas por latas mal cheias representam um problema significativo para o alcance das metas operacionais e financeiras de uma cervejaria. Tais perdas não apenas elevam o custo de produção, mas também comprometem a sustentabilidade ambiental, visto que o descarte de materiais gera impacto ambiental e desperdício de recursos valiosos, como o alumínio da lata, o rótulo e a própria cerveja. A pesquisa também contribui para a sustentabilidade ambiental ao reduzir o consumo excessivo de CO₂.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Eficiência operacional e redução de perdas na indústria de bebidas

A eficiência operacional e a redução de perdas são imperativos estratégicos na indústria de bebidas, um setor caracterizado por volumes de produção elevados e margens de lucro frequentemente apertadas. A busca por maior produtividade e menor desperdício é um tema recorrente na literatura e na prática industrial, impulsionada pela globalização e pela alta concorrência. Manter a competitividade exige o gerenciamento eficaz do processo produtivo, a fim de evitar falhas, melhorar a qualidade e aumentar a produtividade através da redução de perdas.

A Manutenção Produtiva Total (TPM) surge como uma metodologia fundamental (Do Nascimento, Diniz & Gabú, 2018) para aumentar a confiabilidade dos equipamentos e minimizar paradas inesperadas. Essas paradas frequentemente resultam em perdas significativas nas linhas de produção de bebidas, devido à interrupção do fluxo e ao tempo ocioso dos ativos. A aplicação da TPM em linhas de enchimento, por exemplo, é capaz de melhorar consideravelmente a eficiência operacional, evidenciando como a manutenção preventiva e corretiva desempenham papéis cruciais para evitar falhas no processo produtivo. Pilares como a manutenção autônoma permitem que operadores identifiquem problemas antes que causem maiores prejuízos, reduzindo o tempo de inatividade e evitando perdas ao longo da linha produtiva.

Metodologias como o DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) (Silva, 2010), oriundo do Seis Sigma, também são eficazes para identificar gargalos no processo e propor soluções baseadas em dados concretos. Na indústria de bebidas, o setor de envase é particularmente crítico, concentrando o maior número de atividades de manutenção e perdas consideráveis, como latas amassadas e garrafas quebradas. A alta capacidade de produção de equipamentos neste setor significa que mesmo pequenas reduções em perdas podem gerar aumentos significativos na produtividade.

A eficiência global dos equipamentos, medida pelo OEE (Overall Equipment Effectiveness) (Santos, 2008), é um indicador amplamente utilizado para avaliar o desempenho de uma linha de produção. Ele é calculado pela multiplicação de três fatores: disponibilidade, desempenho e

qualidade. Valores de OEE de 85% são considerados de classe mundial, enquanto 60% ainda indicam espaço para melhorias. Perdas por quebra de equipamento, setup, espera momentânea, queda de velocidade, defeitos de produção e queda de rendimento são as seis grandes perdas relacionadas a equipamentos industriais. A análise da causa raiz é essencial para combater problemas crônicos que ocorrem em pequenos intervalos de tempo, mas que, somados, resultam em altos valores de perdas. A capacitação dos operadores é fundamental, pois eles são os primeiros a identificar a deterioração e os "sinais" de falha dos equipamentos.

2.1.2 Recuperação de CO₂ em processos industriais

O dióxido de carbono (CO₂) é um componente onipresente na indústria cervejeira (Kramer, 2010), desempenhando múltiplos papéis em diversas etapas do processo. Sua importância se estende desde a criação de uma atmosfera inerte para evitar a oxidação do produto até a pressurização de tanques e o envase de barris e garrafas. A quantidade de CO₂ necessária para uma indústria cervejeira é considerável, variando de 1,8 a 2,0 kg de CO₂ para cada hectolitro de cerveja produzida.

As grandes cervejarias, devido ao volume de produção, geralmente possuem usinas de recuperação de CO₂ para suprir suas próprias necessidades internas, reduzindo custos e dependência de fornecedores externos. A formação de CO₂ durante a fermentação da cerveja é um processo natural e abundante. Os gases resultantes da fermentação são compostos por mais de 99% de CO₂, tornando-o uma fonte de alta pureza e ideal para recuperação. A quantidade de CO₂ gerada na fermentação é, em teoria, suficiente para atender à demanda interna da cervejaria. Estima-se que cerca de 2,0 kg de CO₂ podem ser coletados por hectolitro de cerveja, um valor que se alinha com a quantidade requisitada na indústria.

O processo de recuperação de CO₂ em cervejarias envolve diversas etapas (Kramer, 2010), tipicamente iniciando-se com a coleta do gás de fermentação em um balão de gás ("tanque pulmão"). Em seguida, o gás pode passar por um lavador de gás (scrubber) e filtros de carvão ativado para purificação. Após a purificação, o CO₂ é comprimido e resfriado para ser liquefeito e estocado em forma líquida. A liquefação é geralmente alcançada com uma combinação de baixa temperatura (em torno de -24°C) e pressão (17 bar), e a umidade deve ser removida para evitar o congelamento no tanque de estocagem.

A recuperação de CO₂ não apenas otimiza custos, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando a indústria cervejeira a práticas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

2.1.3 Métodos de análise e solução de problemas (MASP) e ferramentas da qualidade

No cenário competitivo atual, a capacidade de identificar, analisar e resolver problemas de forma eficaz é crucial para a sobrevivência e o crescimento das organizações. O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) (De Souza et al., 2014), como uma metodologia sistemática e estruturada para abordar questões que impactam a produtividade, a qualidade e os custos operacionais.

O MASP é fundamentado no ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) (Figueiredo, 2023), que serve como base para encontrar soluções eficazes e organizar o processo de resolução de problemas. A aplicação do MASP geralmente se apoia em diversas ferramentas da qualidade, que auxiliam nas diferentes fases do processo de análise e solução. Dentre as mais comuns, destacam-se:

- **Folha de Verificação:** Utilizada para coleta e estruturação de dados de forma simples, facilitando a interpretação e a geração de informações relevantes.
- **Gráfico de Pareto:** Permite classificar e priorizar falhas e problemas, indicando quais são as causas mais significativas que, se resolvidas, trarão os maiores benefícios.
- **Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe):** Essencial para a identificação de causas potenciais que contribuem para a ocorrência de falhas. Organiza as causas em categorias (Método, Máquina, Mão de Obra, Materiais, Meio Ambiente e Medida).
- **Método dos Cinco Porquês (5 Why):** Uma técnica investigativa simples, mas poderosa, que busca a causa raiz de um problema perguntando "porquê" sucessivas vezes até se chegar ao ponto fundamental da falha.

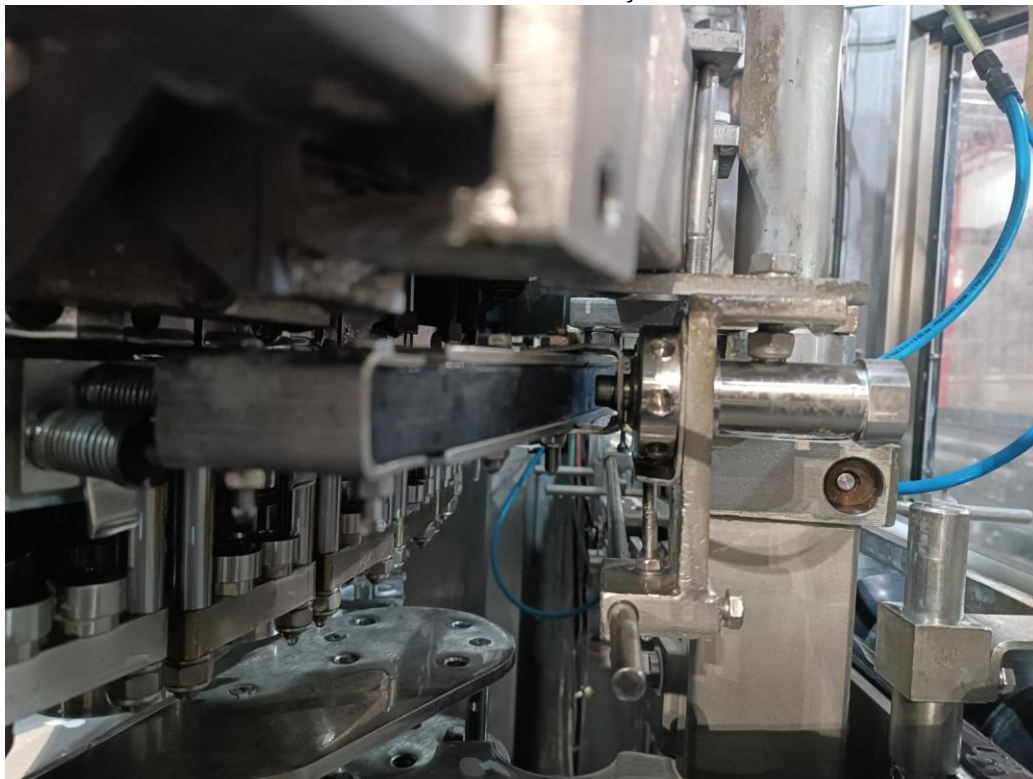
A integração dessas ferramentas dentro do MASP permite uma abordagem estruturada e sistemática para a resolução de problemas, desde a identificação inicial até a implementação de ações e o monitoramento contínuo.

2.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi conduzida em uma linha de produção de uma cervejaria de médio porte localizada em Manaus, Amazonas, com capacidade operacional de 60 mil latas por hora. A abordagem metodológica foi a de um estudo de caso aplicado, com caráter exploratório, combinando métodos quantitativos e qualitativos. A coleta de dados foi realizada em duas etapas de 30 dias consecutivos: Período 1 (antes da intervenção) e Período 2 (após a intervenção).

A intervenção consistiu na instalação de uma barra de regulação manual na saída do circuito de CO₂ da enchedora, substituindo o método anterior de ajuste direto na válvula. A instalação da barra, cujo detalhe pode ser visto na Figura 2, possibilitou a regulação da vazão do gás em tempo real, reduzindo oscilações e otimizando o enchimento das latas.

FIGURA 2. Barra de Regulação Manual de Dióxido de Carbono (CO₂) instalada na linha de enchimento da cervejaria.



Fonte: Acervo da empresa (2025).

3. RESULTADOS

3.1 Análise dos indicadores de desempenho (OEE, IPL e Consumo de CO₂)

Inicialmente, a média de OEE da linha era de 64,0%, ligeiramente abaixo da meta de 64,1%, indicando oportunidades de melhoria. A perda de latas era um problema significativo, com 97.070 unidades perdidas em maio de 2025, representando 0,28% do total e um custo de R\$ 26.023,76.

3.2 Identificação e análise das causas raiz das perdas

O método dos Cinco Porquês (De Souza et al., 2014) revelou que a causa raiz era a deterioração dos anéis de vedação internos das válvulas de enchimento. Isso ocorreu, pois, a manutenção preventiva não havia sido realizada conforme a recomendação do fabricante (troca a cada 9.000 horas, mas o equipamento já somava 31.342 horas de operação). A causa raiz organizacional foi a "falta de priorização dos gerentes para as atividades de melhoria dos planos de manutenção".

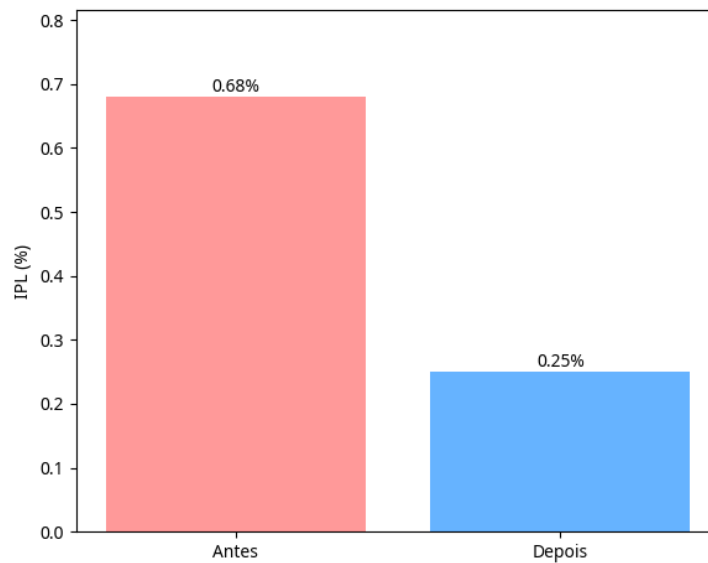
3.3 Implementação da barra de regulação manual de CO₂

O plano de ação focou na manutenção de todas as válvulas de enchimento, com um investimento de R\$ 112.000,00, e na implementação da barra de regulação manual de CO₂. Adicionalmente, o plano de manutenção no sistema SAP foi atualizado com informações técnicas detalhadas para prevenir a recorrência do problema.

3.4 Impacto da solução e análise comparativa

A implementação das soluções resultou em melhorias significativas. O IPL médio caiu de 0,28% para cerca de 0,11%. O custo da perda foi reduzido de R\$ 1,30 para R\$ 0,41 por minuto de produção. A Figura 3 apresenta o comparativo visual dessa redução no IPL.

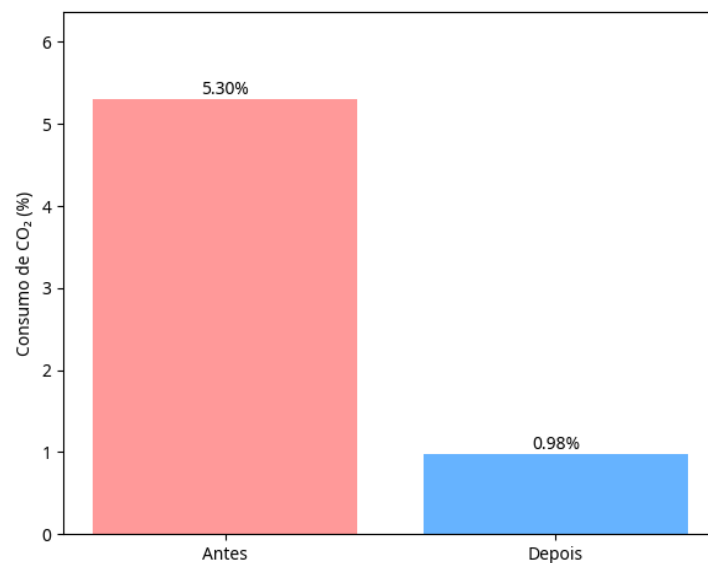
FIGURA 3. Comparativo do Índice de Perda de Latas (IPL) Antes e Depois da Intervenção com a Barra de Regulação de CO₂.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O consumo médio de CO₂ foi drasticamente reduzido de 5,3% para 0,98% por litro produzido, uma economia de 81,5%. O impacto dessa economia é demonstrado graficamente na Figura 4.

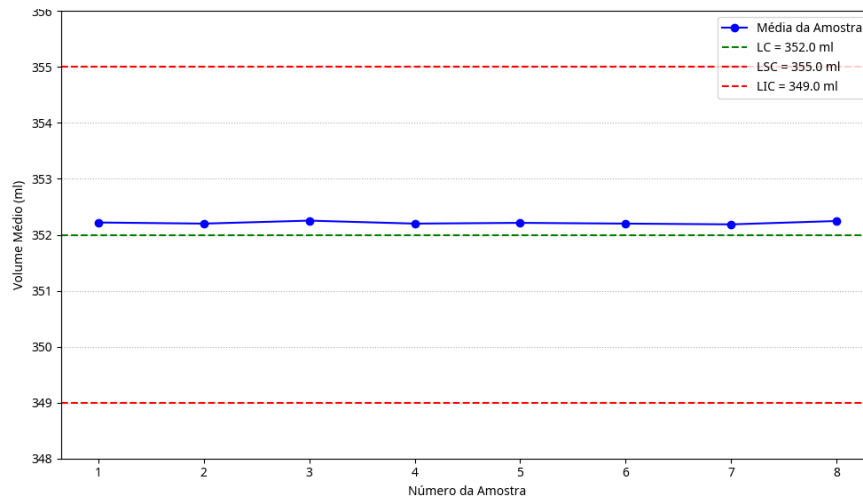
FIGURA 4. Comparativo do Consumo de Dióxido de Carbono (CO₂) Antes e Depois da Implementação da Barra de Regulação.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A produtividade média da linha aumentou de 58.000 para 59.800 latas por hora, atingindo 99,7% da capacidade nominal. A melhoria na consistência do processo de enchimento foi evidenciada pelo gráfico de controle apresentado na Figura 5, que comprovou a eficácia das ações e a estabilidade do processo dentro das especificações.

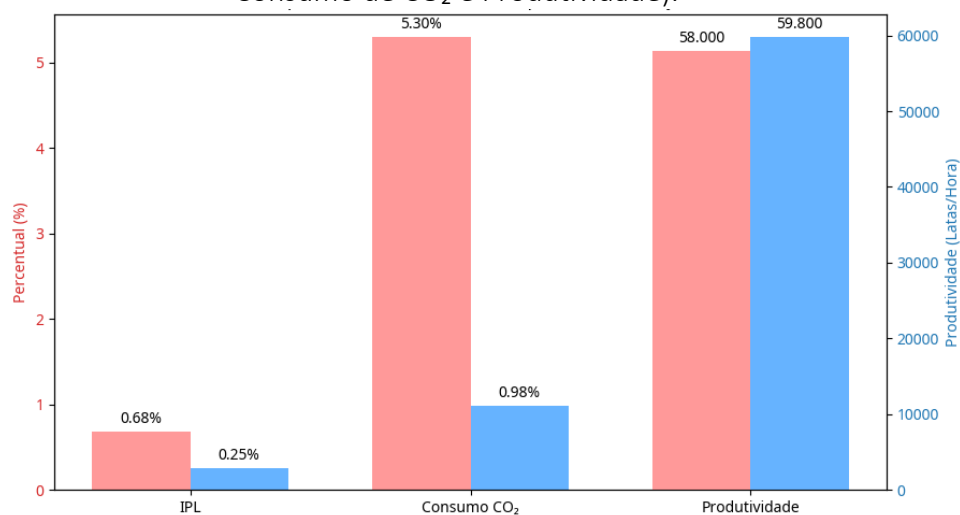
FIGURA 5. Gráfico de Controle do Volume Médio de Enchimento (Após Intervenção).



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A Figura 6 sumariza o impacto global da intervenção nos três indicadores-chave de desempenho.

FIGURA 6. Impacto Global da Intervenção nos Principais Indicadores de Desempenho (IPL, Consumo de CO₂ e Produtividade).



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3.5 Padronização e recomendações para melhoria contínua

A padronização das novas práticas foi crucial para sustentar os resultados obtidos, garantindo que a redução do IPL e a economia de CO₂ se mantenham ao longo do tempo. Entre as ações implantadas, destaca-se a atualização das informações técnicas no SAP, que reduziu em 30% o tempo de resposta às falhas. O uso de tecnologias como palm tops para apontamento de falhas tende a agilizar a comunicação entre operadores e equipe de manutenção, reduzindo o tempo médio de reparo.

Além disso, a expansão do Controle Estatístico de Processo (CEP) para outras linhas pode potencialmente replicar a redução de até 0,17 p.p. no IPL observada neste estudo. A investigação contínua das causas de latas amassadas na entrada da linha também é fundamental para eliminar perdas mecânicas e preservar a integridade das embalagens. Essas iniciativas, quando mantidas e aperfeiçoadas, podem consolidar um ciclo de melhoria contínua e ganhos sustentáveis na operação.

4. CONCLUSÕES

A experiência relatada neste estudo vai além de números e gráficos; ela mostra como soluções simples, quando pensadas com cuidado e baseadas em dados, podem transformar de forma significativa um processo produtivo. A implementação da barra de regulação manual de CO₂ não apenas reduziu custos e perdas, mas também reforçou a importância de olhar para os detalhes do dia a dia da operação — muitas vezes é nesse ponto que estão as maiores oportunidades de melhoria.

Os ganhos obtidos — redução do IPL, economia expressiva de CO₂ e aumento da produtividade — demonstram que é possível conciliar eficiência, sustentabilidade e responsabilidade com os recursos. Mais do que isso, o projeto deixou um legado na equipe: a percepção de que todos podem contribuir para melhorias, independentemente da complexidade da intervenção ou do investimento necessário.

Por fim, esta pesquisa reforça que inovação nem sempre significa grandes investimentos em tecnologia de ponta. Às vezes, ela nasce da combinação de conhecimento técnico, observação atenta e vontade de fazer diferente. É essa mentalidade que fortalece a competitividade das empresas e, ao mesmo tempo, colabora para um futuro mais sustentável.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

DE SOUZA, J., et al. (2014). Aplicação do método de análise e solução de problemas (MASP) para redução de avarias com movimentação de latas vazias em uma indústria de bebidas. Revista ESPACIOS, 35(4).

DO NASCIMENTO, D. M., Diniz, H. H., & Gabú, A. B. (2018). Manutenção Produtiva Total (TPM): Estudo de caso em uma indústria de bebidas. Revista de Trabalhos Acadêmicos - Universo Recife, 4(2-1).

DUARTE, D. A., PIZZOLATO, M., & MENDES, A. A. (s.d.). Manutenção Produtiva Total: Proposta de ações para implantação do pilar da manutenção autônoma em uma indústria de bebidas.

FERREIRA, N. J. R. M. (2023). Estudo do impacto da implementação da metodologia TPM em linhas de enchimento numa indústria de bebidas [Tese de Doutorado].

FIGUEIREDO, R. L. F. (2023). Aplicação da metodologia PDCA para redução de refugos em uma fábrica de tampas de alumínio para bebidas localizada em Maracanaú-CE

KRAMER, G. V. (2010). Recuperação de CO₂ em Microcervejaria [Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRGS.

PACHECO, D. A. J., & CORREA, J. C. (2018). Redução do desperdício de latas em uma linha de envasamento de bebidas. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, 10(20), 151-185.

SANTOS, G. M. P. M. DOS. (2008). A eficiência global de equipamentos (OEE) na indústria de bebidas: um estudo de caso numa linha de envasamento de cerveja-garrafa retornável.

SILVA, H. E. N. DA. (2010). Aplicação do modelo DMAIC no processo de paletização de carga em uma indústria de bebidas do PIM: um estudo de caso.

Used Bottling Lines. (2024). Sidel Starcan MS 50 Valves. Acessado em 28 de maio de 2025, de <https://www.usedbottlinglines.com/bottling-line/sidel-starcan-ms-50-valves/>