

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS ARARANGUÁ

FELIPE DE OLIVEIRA CORRÊA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ENERGIA**

ARARANGUÁ

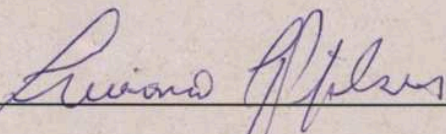
2017

FELIPE DE OLIVEIRA CORRÊA

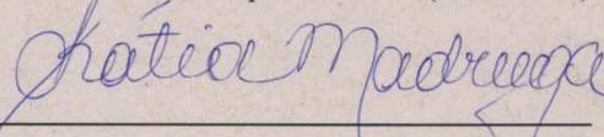
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá

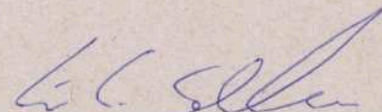
Aprovado em: 08 / 12 / 17



Prof. Dr. Luciano Lopes Pflütscher (Orientador)



Profa. Dra. Kátia Madruga (Examinadora)



Prof. Dr. César Cataldo Scharlau (Examinador)

APLICAÇÃO DO CICLO PDCA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA CERVEJARIA

Felipe de Oliveira Corrêa*

RESUMO

O consumo de energia elétrica apresenta uma das maiores oportunidades de redução de custos no setor industrial. Desse modo, uma boa gestão do consumo de energia elétrica e aplicação de ações de eficiência energética para melhor uso desse recurso ganham cada vez mais destaque em todos os ramos da indústria. Entretanto, ainda há muito para evoluir em relação à gestão deste recurso no setor industrial, principalmente quando analisado o atual cenário de uso final de energia no Brasil. Nesse contexto, o presente trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo de caso sobre a utilização do Ciclo *Plan, Do, Check e Act* (PDCA) como ferramenta de gestão de energia elétrica em uma cervejaria. O trabalho mostra que o método de gestão utilizado foi efetivo para alcançar os resultados estabelecidos como meta. A cervejaria apresentou redução do consumo de energia elétrica ao longo da aplicação da metodologia proposta em comparação com o desempenho da cervejaria no mesmo período do ano anterior. Para uma meta de índice de energia elétrica de 8,55 kWh/hl, o índice alcançado foi de 8,50 kWh/hl. Um sistema de melhoria contínua foi utilizado para garantir a manutenção do desempenho energético.

Palavras chave: Sistema de gestão de energia. Ciclo PDCA. Eficiência Energética.

ABSTRACT

Electricity is a great opportunity for cost savings in the industry. Thus, a good electric energy consumption management and application of energy efficiency technologies for better use of this resource gain prominence in all branches of industry. However, there are still much to develop about energy management in the industrial sector, especially

* Graduando do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP:88900-000. Email: felipedeoliveiracorrea@hotmail.br. 2017.

when analyzing the actual energy end use scenario in Brazil. In this context, this paper presents a case study about the utilization of the management tool Cycle Plan, Do, Check and Act (PDCA) to improve the electric energy performance in a brewery. This work shows that the management tools used was effective to achieve the goals. The brewery presented a considerable reduction in the electric energy consumption throughout the application of the methodology. The reduction is based on electric energy data from previous year. For an electric energy consumption goal of 8,55 kWh/hl, the value achieved was 8,50 kWh/hl. A continuous improvement system has been implemented to keep the energy performance.

Keywords: Energy management system. PDCA Cycle. Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário brasileiro de incertezas econômicas e políticas exigem do setor industrial agilidade e segurança na tomada de decisões, tendo em vista o dinâmico e globalizado mercado (MARTINS, 2016). Aliado a isso, a crescente competitividade do mercado obriga as indústrias a inovar, atender as demandas e reduzir custos. Esses são alguns dos motivos que fazem com que empresas procurem implantar e adequar sistemas de melhoria contínua: reduzir custos e, conseqüentemente, aumentar a competitividade (BATISTA, 2013).

Dentre os custos de maior impacto para as indústrias, independente do tamanho ou setor de atividade, estão os gastos com energia elétrica. Quando analisado os custos referentes à transformação da matéria prima em produto acabado, a energia elétrica representa de 15% a 25% dos custos totais de transformação. Ainda, o setor industrial no Brasil representa 46% do consumo de energia elétrica no país. Desse consumo, estima-se que apenas 51% sejam aproveitadas de fato, sendo o restante perdido com a ineficiência dos processos (MARTINS, 2016).

Além dos custos associados às ineficiências energéticas nos processos produtivos, a cobrança do mercado consumidor por responsabilidade ambiental e uso consciente dos recursos naturais é outro fator que força as empresas a melhorarem seus desempenhos energéticos. Essa cobrança dos consumidores vai de encontro com estratégias governamentais e acordos climáticos internacionais que visam minimizar os impactos das mudanças climáticas previstas nas próximas décadas (PARK et al, 2009).

Nesse contexto, a eficiência energética torna-se um importante pilar no planejamento estratégico das empresas. Isso reflete a atual transição da visão das empresas em relação aos gastos com energia, que deixa de ser apenas uma fonte de custos, mas passa a ser considerada como um fator de competitividade, independente do tamanho e área de atuação (BUNSE, 2011).

Para que as ações de eficiência energética sejam efetivas e duradouras, é necessário que haja uma gestão de energia consistente e bem estruturada na empresa. Caso contrário, os investimentos e esforços para redução do consumo de energia não trarão os resultados esperados e, assim, não justificam os investimentos realizados (TONIM, 2009).

O presente trabalho se propõe a realizar um estudo de caso sobre gestão de energia elétrica em uma cervejaria. O objetivo do trabalho é avaliar a aplicabilidade do Ciclo *Plan, Check, Do e Act* (PDCA) no desenvolvimento de um sistema de gestão de energia elétrica.

A metodologia utilizada consiste na aplicação do Ciclo PDCA e ferramentas de gestão de qualidade auxiliares como *Brainstorming*, Diagrama de Causa e Efeito, Diagramas de Pareto e 5 Porquês na aplicação e gestão de ações de eficiência energética de baixo custo, visando a redução do consumo de energia elétrica. O Ciclo PDCA foi escolhido como ferramenta de gestão devido a ampla aplicabilidade e por que a empresa em que o estudo foi realizado já utiliza essa ferramenta em outros processos, facilitando a aderência dos colaboradores no desenvolvimento da metodologia.

A efetividade das ferramentas de gestão utilizadas é avaliada de acordo com os resultados do desempenho energético da cervejaria, obtidos com a aplicação da metodologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com o Plano Decenal de Energia 2026, o setor industrial de alimentos e bebidas representou em 2016 uma demanda de 27,9% do consumo final de energia no Brasil, como mostra a Figura 1 (BRASIL, 2017).

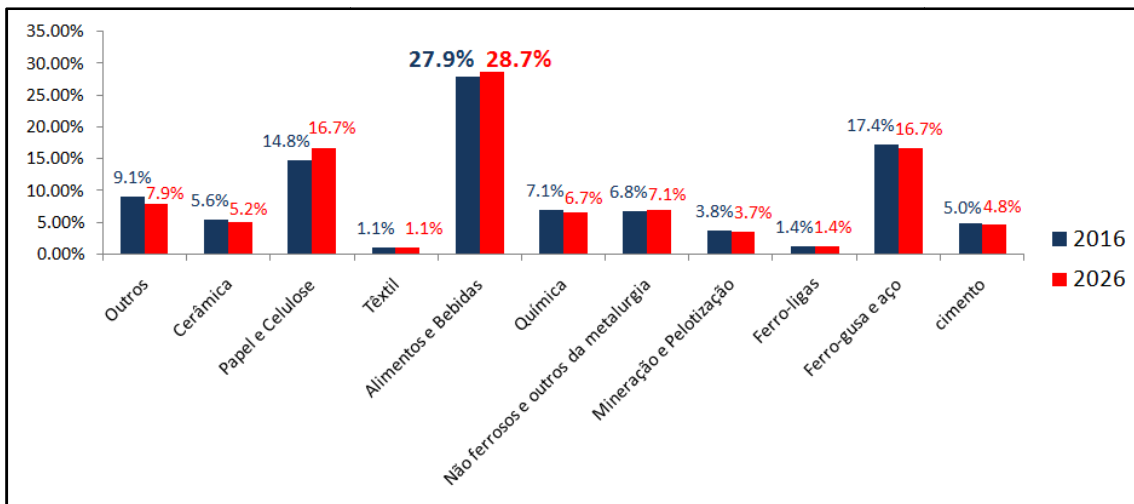


Figura 1 – Consumo final de energia por setor da indústria brasileira (BRASIL, 2017).

A previsão de participação desse setor nos próximos dez anos é de um aumento em torno de 1% no consumo final de energia, de 27,9% para 28,7%. Essa grande demanda por energia sugere que esse setor da indústria terá que desenvolver estratégias de gestão de energia e investimentos em eficiência energética (BRASIL, 2017).

O estudo realizado por Prashar (2017) destaca as barreiras e a falta de estratégia relacionada a sistemas de energia em indústrias de pequeno e médio porte. Segundo o autor, essas indústrias representam consumo significativo de energia e as abordagens relacionadas à eficiência energética estão desatualizadas. A metodologia utilizada consistiu no desenvolvimento de um sistema de gestão de energia baseado na integração de ações técnicas e de gerenciamento. O sistema de gestão desenvolvido pelo autor utilizou o Ciclo PDCA aplicado em um estudo de caso em uma indústria de papel na Índia. O resultado foi uma redução de 35% de energia no sistema de vácuo em uma máquina de fabricação de papel. Além disso, um sistema de melhoria contínua foi aplicado com periodicidade semestral com o objetivo de identificar oportunidades de redução de energia.

No estudo realizado por Martins (2016), o autor destaca a importância de realizar uma abordagem metodológica na aplicação de melhorias para eliminar ineficiências. O estudo foi aplicado em uma indústria de compressores com o objetivo de reduzir o consumo de energia na fabricação. A metodologia utilizada visou complementar o programa *World Class Manufacturing* (WCM) através da inclusão do pilar “Energia” na estrutura do programa. O desenvolvimento do trabalho é feito utilizando o chamado “sete passos de energia”, os quais são: escolha da área piloto,

investigação, medição, análise dos dados coletados, contramedidas, padronização e expansão horizontal. Os resultados mostraram uma redução em torno de 8 milhões de kWh/ano, atestando a aplicabilidade da metodologia.

Além da crescente demanda por qualidade nos processos industriais, a academia tem um importante papel no desenvolvimento das ferramentas de gestão, como mostra Marini (2005). O autor destaca a importância do entendimento do processo a ser analisado para o sucesso da implementação de ferramentas de gestão da qualidade. O trabalho apresenta um estudo de caso no qual é utilizado o Ciclo PDCA para melhorar o processo de limpeza de garrafas em uma indústria de bebidas. Os resultados apresentados pelo autor mostram o sucesso da aplicação da ferramenta de gestão. O sucesso da aplicabilidade da ferramenta reflete no ganho financeiro de R\$ 428.885,60 anuais obtido no processo.

No setor de alimentos e bebidas, o gasto energético com refrigeração é o mais expressivo, em torno de 30% a 40% do consumo de energia elétrica, como mostra o estudo realizado por Tassini (2012). Nesse estudo, o autor apresenta os componentes de um sistema de refrigeração industrial com amônia anidra como fluido refrigerante e as respectivas recomendações visando melhor desempenho energético. A metodologia foi aplicada em uma indústria cervejeira. As ações de eficiência foram obtidas através de revisão bibliográfica e histórico de boas práticas operacionais obtidas em outras indústrias produtoras de cerveja. O investimento nas ações foi de R\$ 302.000,00 e o resultado foi uma economia estimada em 1,7 GWh/ano.

O estudo apresentado por Mendes (2014) desenvolve ações de eficiência energética voltadas para os principais consumidores de energia elétrica em uma indústria cervejeira. A metodologia utilizada consistiu em utilizar históricos de boas práticas operacionais e conceitos de eficiência energética na literatura no desenvolvimento de técnicas para serem utilizadas em outras unidades produtoras de cerveja. Os resultados mostram uma economia de 37 GWh/ano nas unidades em que a ferramenta foi utilizada.

2.1 Eficiência energética

De acordo com Martins (2016), eficiência energética pode ser definida como um conjunto de ações realizadas com o propósito de executar uma determinada atividade ou processo consumindo menos energia. Em outras palavras, uma ação de

eficiência energética visa reduzir o consumo de energia em um processo para chegar ao mesmo resultado final. Em relação ao balanço de energia, pode-se definir um processo eficiente aquele na qual as perdas são reduzidas, otimizando o uso de energia na entrada.

Independente da origem de uma ação de eficiência energética, esta apenas vai ser efetiva de houver implantação, treinamento aos envolvidos e padronização, caso contrário os resultados não serão duradouros. Uma das formas de implantar ações de eficiência energética e aumentar sua efetividade é através de um sistema de gestão de energia, ampliando o alcance das ações traçadas.

2.2 Sistemas de gestão de energia

O uso adequado de energia pelas indústrias deve fazer parte do planejamento estratégico das empresas, por meio de um programa de conservação de energia, como explica Mosko *et al* (2010). Além de representar redução dos custos, um programa de conservação de energia permite que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica do processo produtivo. O programa consiste na aplicação de um modelo de gestão do conhecimento com um propósito específico: tornar o processo produtivo mais eficiente.

Batista (2013) define a gestão do conhecimento como um conjunto de atividades desempenhadas em uma organização para alcançar metas. Para que a gestão funcione, é necessário definir políticas, regras, responsáveis, procedimentos e tecnologias que sejam capazes de coletar e difundir o conhecimento, gerando mudança na organização.

Para que um programa de conservação de energia seja consistente, é necessário envolvimento de todos os níveis hierárquicos dentro da empresa, pois as ações de redução de consumo só serão efetivas com o envolvimento de todos. Em um programa desses, muitas vezes há grupos de melhoria e reuniões para gerir as ações de eficiência. Nesses grupos, é importante a participação de colaboradores de diferentes áreas da empresa, pois estes poderão contribuir de forma técnica sobre diferentes etapas do processo produtivo (MOSKO, 2010).

Devido à complexidade de sistemas de energia, é essencial a aplicação de técnicas de engenharia, economia e administração como meio para aplicação das ações de eficiência. Independente da motivação, o conhecimento dessas técnicas se faz

necessário para aperfeiçoar sistemas de geração, distribuição, armazenamento e utilização de energia (MARTINS, 2016). Essas técnicas devem ser aplicadas e gerenciadas impreterivelmente por alguma metodologia de gestão para que os resultados alcançados sejam eficazes e duradouros.

Quando os resultados são alcançados, os ganhos em eficiência devem ser quantificados e expostos para toda empresa. Os ganhos apresentados não precisam ser apenas financeiros, mas também ambientais e sociais, como a quantificação da redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) decorrente dos ganhos gerados (MOSKO, 2010).

As metodologias de gestão de energia têm foco nos desperdícios e perdas que oneram custos e impactam na qualidade, produtividade e competitividade. Geralmente, esses sistemas de gestão utilizam metodologias de melhoria contínua, ou seja, o processo produtivo é sempre avaliado para identificar oportunidades de melhoria, sem deixar de padronizar as ações que já foram realizadas e trouxeram bons resultados (MARTINS, 2016).

2.3 O Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão de projetos que visa a melhoria contínua dos problemas a serem resolvidos. A sigla PDCA significa *Plan, Check, Do e Act*, ou seja, planejar, checar, fazer e agir. A essência do funcionamento dessa ferramenta é realizar um planejamento detalhado das ações para resolver o problema identificado e estabelecer a meta a ser alcançada, realizar as ações planejadas, checar os resultados e padronizar as ações com bons resultados (SOKOVIC, 2010).

Essa ferramenta é considerada um ciclo, pois a cada execução de todas as etapas do sistema a análise pode novamente ser realizada e a ferramenta novamente aplicada, como mostra na Figura 2.

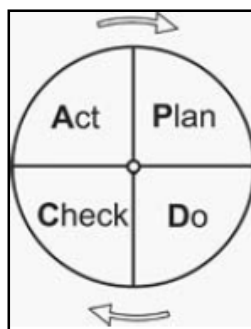


Figura 2 – Representação do Ciclo PDCA (SOKOVIC, 2010).

A aplicação do método começa pela etapa *Plan*. Nessa etapa são realizadas todas as análises iniciais do problema. O sucesso do projeto depende fortemente da boa execução dessa etapa. Para isso, é necessário estar com o problema claramente definido. O problema pode ser tanto um resultado indesejado de uma meta, quebra inesperada ou um resultado final desejado como, por exemplo, iniciar uma linha de produção sem atrasos (ANDRADE, 2003).

Após o entendimento claro do problema é necessário discutir algumas questões como: qual a meta a ser alcançada, quais as pessoas envolvidas, qual o recurso financeiro e pessoal disponível, qual o prazo para efetivação do plano de ação, quais serão os dados a serem coletados e analisados durante e após as ações feitas. Para cada uma dessas questões existem métodos e formas para melhorar o desempenho do processo (ANDRADE, 2003).

A definição da meta deve ser feita cuidadosamente, pois, além de indicar o rumo das ações que serão realizadas, deve ser factível para que o resultado possa de fato ser alcançado. A meta deve ser constituída de três partes: objetivo, prazo e valor. O objetivo deve indicar a proposta a ser trabalhada como, por exemplo, aumentar o número de vendas. A meta deve ter um prazo para ser alcançada, levando em consideração todas as possíveis dificuldades ao longo do projeto. O valor quantifica o objetivo para que os resultados possam ser mensurados. Um exemplo de meta é exemplificado por Andrade (2003): aumentar o número de lançamentos imobiliários em 50% do valor atual até o ano de 2004.

A próxima etapa consiste em analisar o fenômeno. No estudo realizado por Prashar (2017) sobre a implementação de um sistema de gestão de energia em uma fábrica de papel, o meio utilizado para analisar o problema consiste em um comitê formado por representantes de diferentes áreas da empresa, incluindo gestores e gerência. Essa participação de representantes de diferentes áreas é essencial, pois

informações detalhadas identificadas em campo podem ser consideradas. O autor ainda explica a importância de haver um coordenador no comitê formado. Essa pessoa realiza a função de organizar e apresentar as pautas das reuniões, aumentando a eficiência e produtividade dos encontros.

Os dados levantados sobre o problema precisam ser estratificados para facilitar a análise. Essas estratificações podem ser feitas por diversas ferramentas, entre elas o Diagrama de Pareto. O Diagrama de Pareto leva em consideração a importância relativa das variáveis de um problema. Ou seja, o diagrama mostra a porcentagem da contribuição de cada variável para o problema (GRAEML, 2007).

Após realizar o levantamento e estratificação dos dados, o próximo passo é a análise do processo. Como explica Andrade (2003), essa etapa consiste na identificação e priorização das causas relacionadas ao problema estudado. Resumidamente, através das características mais importantes dos dados analisados, as causas principais do problema são identificadas. Para que essa etapa tenha sucesso, é interessante a contribuição de todas as pessoas que trabalham na empresa e podem, direta ou indiretamente, estarem envolvidas com o problema analisado.

As pessoas envolvidas devem participar das reuniões de análise dos problemas, pois estas enriquecem a discussão com informações específicas e, assim, permitem identificar com maior precisão as causas. Nessas reuniões de análise, uma técnica geralmente utilizada é a *Brainstorming*. Essa técnica consiste em apresentar o máximo de idéias possíveis sobre um assunto em um determinado período de tempo. Para que essa técnica seja efetiva, alguns procedimentos devem ser seguidos: deixar claro o assunto a ser discutido e o problema a ser resolvido, anotar todas as idéias apresentadas e deixar expostas, discutir e esclarecer as idéias anotadas (GRAEML, 2007).

As possíveis causas apresentadas nas reuniões de análise do problema através da *Brainstorming* precisam ser organizadas de forma clara, isso serve para visualizar de que maneira cada causa fundamental impacta no problema. Uma forma de organizar as causas é por meio do Diagrama de Causa e Efeito, também chamado de Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa. Esse diagrama é uma representação gráfica que organiza as possíveis causas do problema de acordo com as áreas, conhecidas como 6M: mão de obra, materiais, máquinas, medidas, meio ambiente e métodos (GRAEML, 2007).

As possíveis causas empregadas no Diagrama de Causa e Efeito precisam ser classificadas de acordo com a priorização, como mostrou o estudo feito por Guimarães

et al (2013). A priorização precisa levar em consideração a influência de cada causa sobre o problema de diferentes ângulos, e não somente pelo impacto sobre o problema. Essa é uma etapa crucial no planejamento, pois em alguns casos, mesmo que uma determinada causa tenha um impacto muito grande sobre o problema, a sua solução pode não ser priorizada devido a fatores como custos e tempo, por exemplo. A Tabela 1 mostra uma forma de priorização de causas.

Tabela 1 – Método de priorização de causas de um problema.

Classificação	1	3	5
Facilidade	Diffícil de eliminar	Dificuldade média	Fácil de eliminar
Autonomia	Sem autonomia	Alguma autonomia	Autonomia total
Impacto	Baixo impacto	Médio impacto	Alto impacto

Fonte: Guimarães et al (2013).

Embora as causas sejam identificadas nas reuniões de análise do problema por meio de técnicas como *Brainstorming*, elas precisam, após a priorização, serem estudadas para encontrar a causa raiz e definir as ações que serão feitas para sanar o problema. Uma técnica muito utilizada nessa etapa é a técnica dos 5 Porquês. Essa técnica consiste em realizar a pergunta do por que determinado problema acontece, sendo que a cada resposta um novo por que deve ser questionado relacionado à resposta anterior. Em geral, a cada 5 questionamentos a causa raiz, ou causa fundamental, do problema é encontrada. No entanto, algumas vezes não se faz necessário realizar o questionamento 5 vezes, pois a causa raiz já é identificada, da mesma forma que em algumas situações são necessários mais de 5 questionamentos para identificar a causa fundamental (BENJAMIN et al, 2009).

O resultado da aplicação da técnica dos 5 Porquês são as ações a serem realizadas para sanar o problema estudado. Com a identificação da causa raiz do problema, uma ou mais ações devem ser planejadas para solucionar o problema. Desse modo, o Plano de Ação é criado. Uma boa maneira de criar um Plano de Ação é utilizar a técnica do 5W2H, na qual são especificados: o que deve ser feito, quando deve ser feito, quem deve fazer, onde deve ser feito, por que deve ser feito, como deve ser feito, e quanto custa para realizar a ação (GRAEML, 2007).

O 5W2H consiste em uma técnica de estruturação de ações, ou seja, um detalhamento da ação com o objetivo de esclarecer ao máximo a ação proposta. A técnica consiste em fazer algumas perguntas sobre a ação a ser feita. O 5W vem do inglês e significa *What* (O que), *Why* (Por que), *Who* (Quem), *When* (Quando) e *Where*

(Onde), enquanto que o 2H significa *How* (Como) e *How much* (Quanto custa). Aplicando essa técnica na elaboração de um plano de ação, a chance de sucesso na fase de execução aumenta consideravelmente, pois a ação fica clara para o executante (MASSARONI, 2015). Em outras palavras, com a aplicação bem feita da técnica dos 5 porquês, o Plano de Ação é confeccionado com o auxílio da técnica 5W2H e o Ciclo PDCA pode evoluir para a próxima fase, a fase *Do*.

A fase *Do* consiste na execução do plano de ações elaborado na fase anterior. Como Andrade (2003) ressalta, o Plano de Ação deve ser posto em prática de acordo com a filosofia de trabalho de cada empresa. A efetividade do Plano de Ação depende muito da elaboração na etapa de planejamento, para isso é necessário que as ações estejam atuando nas causas fundamentais do problema e não sobre os efeitos.

Durante a execução do Plano de Ações, reuniões periódicas com o comitê estabelecido anteriormente com representantes de todas as áreas e donos de ação devem ser realizadas. Nessas reuniões os donos de ação devem passar para todos a evolução da ação sendo executada, informando as principais dificuldades e pontos relevantes que são encontrados durante a execução. Além disso, como durante a reunião são apresentados os indicadores relacionados ao problema, novas discussões podem ser feitas e novas ações criadas. Essa etapa serve para manter o Plano de Ação atualizado e realizar alterações caso haja necessidade (ANDRADE, 2003).

A próxima fase do ciclo é a *Check*. Essa etapa consiste na verificação dos resultados das ações realizadas no Plano de Ação. Basicamente, é nessa etapa que é visto se o Plano de Ação e toda a fase de planejamento foram efetivos, pois é nela que são vistos os resultados gerados e identifica-se a meta foi alcançada ou não. Para que o comitê tenha um controle mais eficiente dos resultados gerados, é necessário definir os índices de controle (IC) e índices de verificação (IV). Um IC representa um indicador que incide no resultado final, ou seja, está intrinsecamente relacionado ao processo. Por outro lado, um IV pode ser definido como medidores do desempenho dos componentes do processo, ou seja, todos os ICs geram IVs, sendo que os IVs atuam nas causas (ANDRADE, 2003).

A avaliação dos resultados diz quais as ações estão sendo efetivas e quais ações precisam ser reavaliadas. Para as ações que trazem bons resultados e, conseqüentemente, auxiliam no alcance da meta estabelecida, o Ciclo PDCA pode evoluir para a próxima e última fase, o *Act*. A última fase do ciclo representa a padronização das ações traçadas no Plano de Ação e que trouxeram bons resultados. O

grande objetivo nessa fase é garantir a melhoria contínua, ou seja, registrar as boas ações realizadas para que o conhecimento adquirido não seja perdido e os bons resultados se mantenham (ANDRADE, 2003).

Uma maneira consistente de realizar a padronização de ações é redigir padrões operacionais que descrevam claramente cada etapa da ação realizada. Esse padrão deve conter detalhes e observações de quem já realizou a ação e deixar escrito de forma clara o que deve ser feito. Uma vez escrito o padrão, ele deve ser amplamente divulgado e treinamentos para execução do padrão devem ser realizados. Para isso, é muito importante definir o dono da ação de treinamento, os treinadores e os treinados, bem como realizar o registro dos treinamentos. A partir do momento que a empresa tem seus padrões de excelência, eles devem ser revisados constantemente mantendo a qualidade dos padrões e evidenciando o processo de melhoria contínua (ANDRADE, 2003).

Após o cumprimento da fase *Act*, o Ciclo PDCA chega ao fim. Nesse momento deve ser decidido pelos líderes da empresa se o ciclo deve novamente ser aplicado, iniciando um processo de melhoria contínua. Nesse sentido, uma evolução do Ciclo PDCA ganha espaço, o Ciclo SDCA. O Ciclo SDCA significa *Standardization, Do, Check e Act* e representa um ciclo de padronização. A diferença entre esses dois ciclos é que o PDCA é aplicado para resolver um problema ou, em outras palavras, evoluir uma determinada condição de patamar. Por outro lado, o Ciclo SDCA é utilizado na padronização das ações de sucesso já implementadas, ou seja, manter uma condição no patamar de qualidade já alcançado. O Ciclo SDCA é mantido como referência até que uma nova melhoria no processo surja (KNOP; MIELCZAREC, 2015).

2.4 O processo produtivo analisado

Os métodos de gestão PDCA e SDCA são aplicáveis na solução de qualquer problema ou no desenvolvimento de qualquer projeto. No entanto, para que os métodos funcionem e as metas sejam alcançadas, é necessário ter um bom entendimento do processo a ser analisado. Além disso, é necessário ter o auxílio de especialistas no processo; isso ajudará em todas as fases dos ciclos PDCA e SDCA. Para o presente trabalho, os métodos de gestão apresentados foram aplicados em uma cervejaria. Portanto, essa seção apresenta uma visão geral sobre o processo produtivo de uma cervejaria.

A cerveja é uma bebida feita com cereais maltados, água e lúpulo, sob a ação de leveduras. O processo de produção de cerveja é complexo e envolve processos biológicos sensíveis a contaminações (MEGA et al, 2011; ORTIS, 2014). A Figura 3 mostra uma representação do processo produtivo em uma cervejaria.

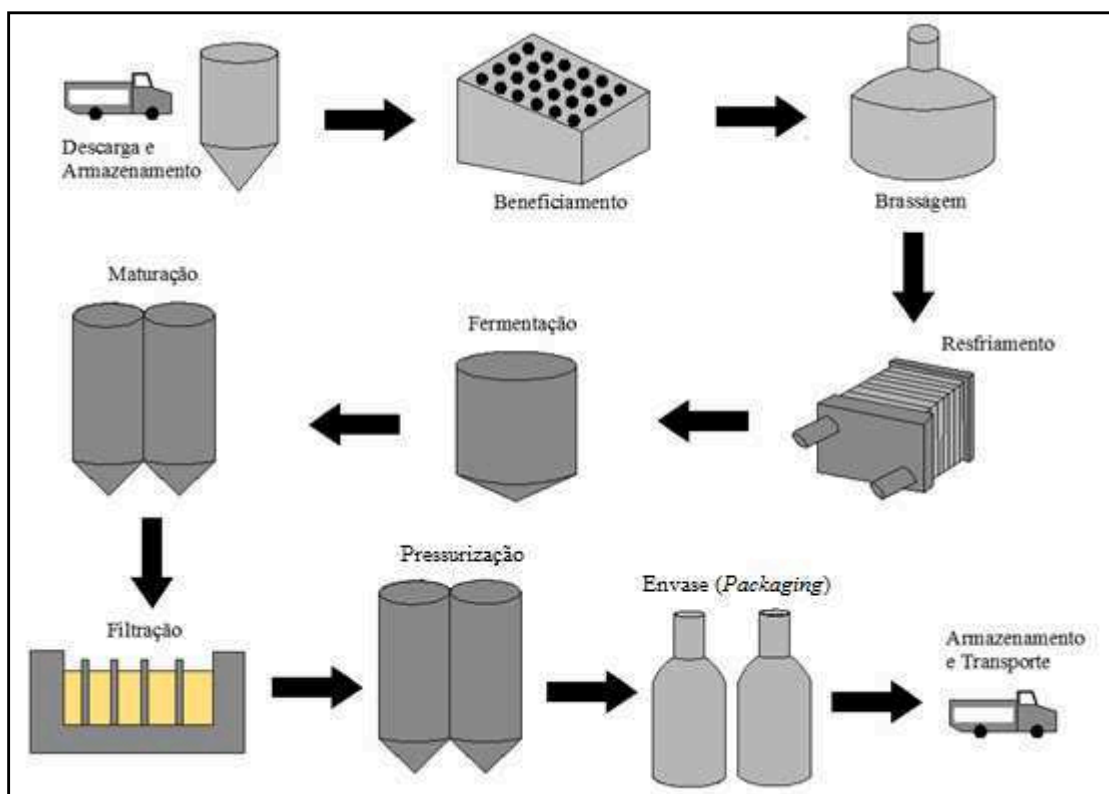


Figura 3 – Representação do processo produtivo em uma cervejaria (AUTOR).

Todas as etapas de produção de cerveja envolvem processos complexos que podem ser detalhadamente explicadas e estudadas com maior profundidade. No entanto, como esse não é o escopo desse trabalho, os processos de produção da cervejaria serão apresentados resumidamente, apenas para contextualizar o uso de energia elétrica no processo produtivo em questão.

O processo de produção de cerveja começa com o descarregamento das matérias primas, como malte e lúpulo, e dos insumos, como garrafas e garrafeiras. Após serem descarregados, esses precisam ser preparados para produção. A preparação começa com o beneficiamento do malte, etapa na qual o malte é limpo de impurezas e moído para ser utilizado na mosturação (ALVES, 2014).

A mosturação é a etapa de preparação do mosto. Nessa etapa, água é adicionada ao grão moído e condicionada a um processo térmico. Em geral, o objetivo

da mosturação é ativar algumas enzimas do malte, com controle da temperatura, pois há temperaturas ótimas nesse processo (LIMBERGER, 2013).

Ao término da mosturação, o mosto precisa ser filtrado, separando o líquido dos grãos moídos; esse processo é feito através de um filtro prensa. Em seguida, o mosto vai para o processo de fervura, etapa responsável por esterilização do mosto, conservação protéica, evaporação de voláteis, isomerização de ácidos e caracterização da coloração. As etapas de mosturação, filtração do mosto, fervura e resfriamento fazem parte do processo chamado brassagem (BRIGGS et al, 2004).

Após a fervura, o mosto precisa ser resfriado até a temperatura ideal de fermentação. Ao atingir a temperatura, o mosto é trasfegado para os tanques de fermentação. O local onde estão localizados os tanques é chamado de Adeegas. Os tanques devem ter sistemas de controle de temperatura, pois o produto precisa ser condicionado em temperaturas ideais. Na maioria das cervejarias, o sistema de controle de temperatura é feito usando um sistema de refrigeração por compressão de vapor, na qual amônia anidra é comumente utilizada (BRIGGS et al, 2004)

O processo de fermentação é feito através do acompanhamento da curva de fermentação do mosto, onde as medidas de extratos são feitas para determinar o fim da fermentação. Com o fim dessa etapa, o mosto é centrifugado com o objetivo de recolher proteínas pesadas e leveduras. Ao passar pela centrifugação o mosto é trasfegado para os tanques de maturação, onde a temperatura também é controlada (ALVES, 2014).

Ao fim da maturação, a cerveja precisa novamente ser filtrada. Essa etapa serve para reter resquícios de fermento e outras substâncias indesejadas. Na filtração também é produzido água desaerada, em um processo que consiste na retirada do oxigênio dissolvido da água. Esse processo demanda frio para resfriar a água que será desaerada e CO₂ para remover o oxigênio dissolvido na água. Após a fermentação, qualquer contato da cerveja com água é feito com água desaerada para evitar a incorporação de oxigênio na cerveja, pois oxigênio dissolvido na cerveja impacta na qualidade do produto. Após a filtração, a cerveja é armazenada nos tanques pressurizados com CO₂ e aguarda a etapa de envase (ALVES, 2014).

O processo de envasar a cerveja, arrolhar, rotular e embalar o produto final ocorre na área chamada de *Packaging*. Basicamente, o *Packaging* é responsável por pegar a cerveja dos tanques de maturação e transportá-la para uma forma comercializável (SILVA, 2014).

O produto acabado, também chamado de Produto Líquido (PL), representa todo o volume de cerveja que a área de *Packaging* envasa. O produto acabado é armazenado no armazém, onde é mantido em estoque até ser carregado e levado aos clientes.

Os processos apresentados geram efluentes com variadas cargas orgânicas. Esse efluente gerado deve ser tratado, sendo o tratamento baseado na decomposição da matéria orgânica por processos aeróbicos e anaeróbicos. O efluente tratado precisa atender uma série de requisitos legais para ser descartado no ambiente. Além disso, a água utilizada em todos os processos da cervejaria também deve passar por processos de tratamento (ALVES, 2014).

3 MÉTODOS

Nesse capítulo serão apresentados os métodos de aplicação da ferramenta PDCA como sistema de gestão de energia elétrica em uma cervejaria. A cervejaria está localizada na cidade de Lages, Santa Catarina. A produção de cerveja no ano de 2016 foi de 347 milhões de litros de cerveja, distribuídas em nove marcas. O Ciclo PDCA teve duração de nove meses. A metodologia foi aplicada de janeiro a setembro de 2017 e as informações referentes ao perfil de consumo e histórico de consumo da cervejaria foram referentes ao ano anterior ao trabalho, ano de 2016.

Antes mesmo de começar a aplicação da ferramenta PDCA, a etapa de conhecimento sobre o processo produtivo da empresa na qual a metodologia foi aplicada é necessária. O processo produtivo foi resumidamente apresentado no tópico 2.4, porém algumas informações precisam ser registradas nessa etapa inicial, principalmente as relacionadas com o consumo de energia elétrica da cervejaria. As principais informações são:

- . O sistema de refrigeração da cervejaria é por compressão de vapor, na qual o fluido refrigerante é amônia anidra;
- . Todos os transportadores são movidos por motores elétricos;
- . A cervejaria tem um sistema de planejamento e controle de manutenção, com planos de manutenção específicos para determinados equipamentos;
- . O sistema de ar comprimido da cervejaria utiliza cinco compressores de ar, que são acionados de acordo com a demanda;

- . O sistema de tratamento de efluentes utiliza aeradores movidos por motores elétricos, onde quanto maior a carga orgânica a ser tratada, maior a demanda dos motores;
- . O resfriamento do mosto é feito com água gelada como fluido frio nos trocadores de calor;
- . Todo o sistema de geração de frio, ar comprimido e CO₂ é centralizado na área de Utilidades;
- . Há 30 medidores de energia distribuídos pela cervejaria para que seja possível estratificar o consumo por área. Foi através desses medidores que o histórico de consumo de energia elétrica foi obtido para realizar as análises na etapa de planejamento;

Em relação à energia elétrica, o consumo da cervejaria é monitorado diariamente através do consumo absoluto (kWh) e do índice de energia elétrica (kWh/hl), que é a divisão do consumo absoluto pela PL envasada no dia. O índice de energia pode ser de três tipos: índice diário: divisão do consumo do dia pela PL envasada do dia; índice mensal: média ponderada da soma do consumo de energia do mês pela soma da PL do mês; índice anual: média ponderada da soma do consumo de energia do ano pela soma da PL do ano.

3.1 Plan

A etapa de planejamento é dividida em identificação do problema, definição das metas, análise do problema, análise do processo e mapeamento do processo.

3.1.1 Identificação do problema e definição das metas

O objetivo com a aplicação de um sistema de gestão é reduzir o consumo de energia elétrica da cervejaria sem diminuir a produção, tornando-a mais eficiente. A meta é estabelecida através dos estudos de tendência de mercado realizados pela área corporativa da cervejaria e o perfil de consumo de energia elétrica da cervejaria do ano anterior.

A Tabela 2 mostra os valores de índices estabelecidos como meta. Vale ressaltar que há dois tipos de meta: meta mês e meta acumulada. A primeira utiliza apenas os valores de consumo e PL do próprio mês, enquanto que a segunda utiliza os

valores decorridos dos meses. A meta é estabelecida para todo o período do Ciclo PDCA, nesse caso nove meses.

Tabela 2 – Meta de índices de energia mensal e acumulado.

Mês	Meta mês (kWh/hl)	Meta acumulada (kWh/hl)
1º mês	8,26	8,26
2º mês	8,38	9,31
3º mês	8,65	9,41
4º mês	8,68	9,47
5º mês	8,77	8,53
6º mês	8,77	8,56
7º mês	8,68	8,57
8º mês	8,51	8,56
9º mês	8,42	8,55
Meta Final		8,55

Fonte: Autor.

A meta para cada mês é estabelecida baseada no volume de produção previsto pela área corporativa da empresa. Assim, é possível estabelecer valores de meta acumulada. Por isso, em cada mês, há um valor de meta mensal e um valor de meta acumulada, que considera o desempenho da cervejaria do início até cada final de mês. Assim sendo, a principal meta a ser alcançada é o índice de energia de 8,55 kWh ao final do 9º mês.

O problema é identificado por meio da análise comparativa dos índices mensais de energia elétrica da cervejaria no mesmo período do ano anterior com a meta. A Figura 4 mostra a comparação que auxilia na identificação do problema.

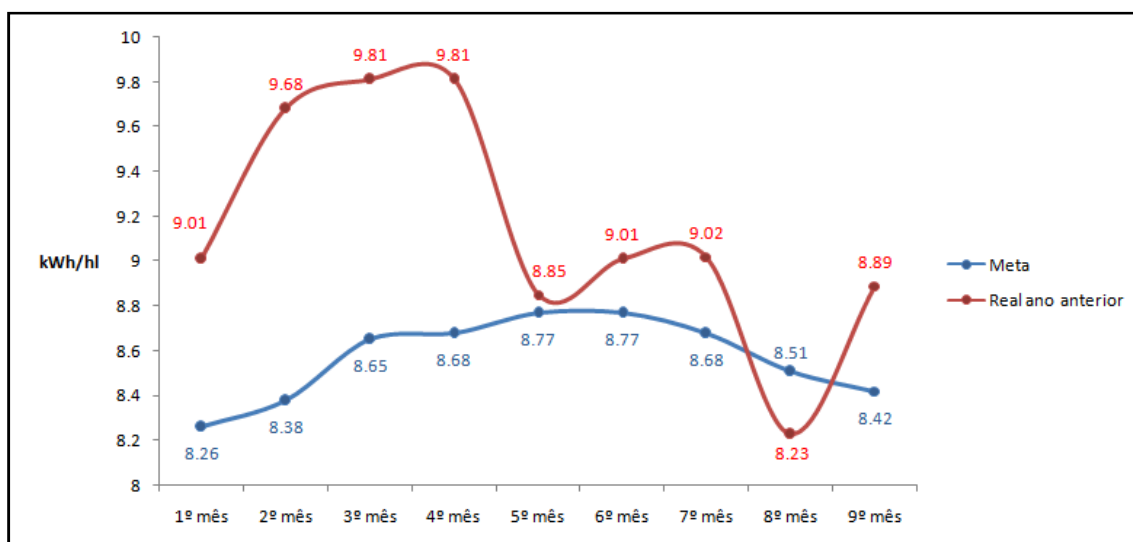


Figura 4 – Comparação entre índice real do ano anterior e meta mês (AUTOR).

Os valores apresentados na Figura 4 mostram que há lacunas entre a meta e ao valor real do ano anterior dos índices mensais de energia elétrica. Assim, define-se o problema a ser resolvido como o alto consumo de energia elétrica da cervejaria.

Na etapa inicial é importante elaborar um cronograma das etapas do ciclo, como mostra a Figura 5.

Etapa	1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês	7º mês	8º mês	9º mês
Análise do problema	X								
Definição da meta	X								
Análise do processo	X	X							
Elaboração do plano de ação		X	X						
Execução do plano de ação				X	X	X	X		
Verificação dos resultados					X	X	X	X	
Padronização e SDCA								X	X
Conclusão									X

Figura 5 – Cronograma da aplicação da metodologia (AUTOR).

Em relação ao cronograma da Figura 5, a etapa de execução do plano de ações é a que demanda maior tempo, pois já devem ser previstas dificuldades na execução das ações.

3.1.3 Análise do problema

Para compreender o problema do alto consumo de energia elétrica, o histórico de consumo do ano anterior da cervejaria é utilizado para estratificar as áreas de maior consumo. O histórico de consumo foi obtido com através de 30 medidores de energia do modelo *CCK 7200* distribuídos pela cervejaria.

O Diagrama de Pareto da Figura 6 mostra a porcentagem do consumo de energia elétrica do ano anterior por área da cervejaria.

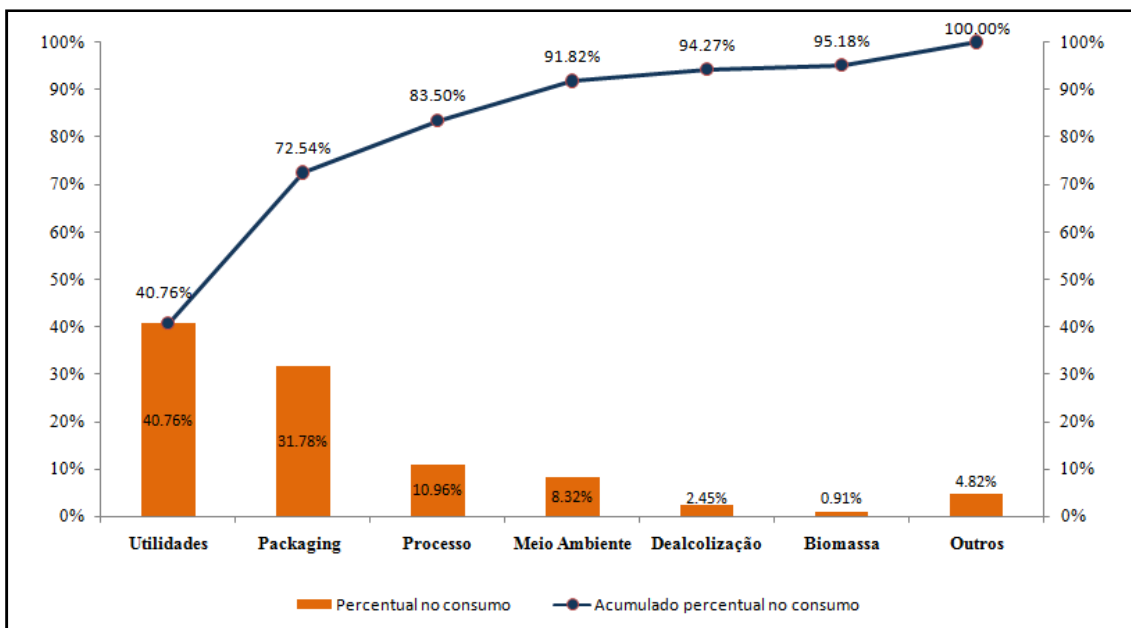


Figura 6 – Consumo de energia elétrica da cervejaria por área (AUTOR).

A área que apresenta maior consumo de energia elétrica é a de Utilidades. Essa é uma área suporte, responsável por fornecer água gelada, etanol gelado, ar comprimido e CO₂ para as demais áreas. Na área de Utilidades, sabe-se que os principais consumidores de energia elétrica são os compressores de ar e amônia, responsáveis pelos sistemas de ar comprimido e frio, respectivamente.

A área de *Packaging* é a segunda maior consumidora de energia elétrica. Os principais equipamentos consumidores nessa área são os motores dos transportadores e bombas de água das lavadoras e pasteurizadores. O consumo de energia elétrica nessa área está relacionado à produtividade das linhas de envase, sendo que as que mais produzem têm maior consumo de energia elétrica.

A área de Processo é a terceira maior consumidora. Nessa área os principais consumidores são motores das máquinas de beneficiamento de matéria prima, transportadores, bombas e centrífugas utilizadas na produção de cerveja. Nesse consumo estão inclusos as três subáreas do Processo: Brassagem, Adegas e Filtração. Em cada uma dessas subáreas o perfil de consumo é diferente. No entanto, o acionamento de motores é o principal responsável pelo consumo de energia elétrica em todas elas.

A quarta área de maior consumo é o Meio Ambiente, na qual estão inclusas a Estação de Tratamento de Água (ETA) e Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI). A ETA representa a menor parcela desse consumo, sendo os principais

responsáveis as bombas de captação de água e tratamento de água. Na ETEI os principais consumidores de energia elétrica são os aeradores e bombas de efluente. Como o tratamento do efluente gerado é feito por processos aeróbios, os aeradores são os responsáveis por incorporar oxigênio no efluente e acelerar o processo de tratamento. Isso significa que quanto maior a carga orgânica a ser tratada, maior o consumo de energia elétrica pelos aeradores na ETEI. Logo, o consumo de energia elétrica na ETEI está diretamente relacionado aos processos produtivos, principalmente em relação aos descartes na área de Processo.

Um dos produtos da cervejaria em que o estudo foi realizado é a cerveja sem álcool, que é produzida na área de Dealcolização. Na etapa de fermentação no processo de produção de cerveja, açúcares são transformados em CO₂ e álcool. Para fabricar cerveja sem álcool, é necessário extrair o álcool produzido na etapa de fermentação da cerveja e isso é feito na área de Dealcolização. Os principais consumidores de energia elétrica nessa área são os compressores de amônia do sistema de refrigeração, além das bombas de etanol e cerveja.

A área Biomassa é responsável por gerar vapor para o processo produtivo e as linhas de envase. Como o nome sugere, as caldeiras de geração de vapor utilizam biomassa como combustível, nesse caso, cavaco. Os principais consumidores nessa área são as bombas de água e sopradores de ar para as caldeiras.

As outras áreas representam a iluminação do estacionamento e cargas dentro da cervejaria que não são medidas. As áreas Administrativa e Logística estão distribuídas nas medições das linhas de *Packaging*. Além disso, todas as áreas apresentadas têm consumo fixo de energia elétrica com iluminação e demais cargas de equipamentos de escritório.

Os índices de energia elétrica do ano anterior estão apresentados na Figura 6, sendo que cada área tem determinada contribuição nesses índices. Cada área tem uma meta de consumo de energia elétrica para que a cervejaria alcance a meta estabelecida. Essas metas por área são estabelecidas com base na contribuição percentual de cada área no consumo total da cervejaria. A Tabela 3 mostra os índices de cada área realizados no ano anterior ao estudo e os índices de cada área estabelecidos como meta.

Tabela 3 – Índices de cada área do ano anterior e índices para alcançar a meta.

Área	Índice ano anterior (kWh/hl)	Meta (kWh/hl)
Utilidades	4,55	4,35
Packaging	3,64	3,52
Processo	0,86	0,84
Meio Ambiente	0,61	0,58
Dealcolização	0,34	0,32
Biomassa	0,22	0,21
Outros	0,30	0,29

Fonte: Autor.

Com base nos índices de cada área, são identificadas as áreas de maior lacuna entre o índice do ano anterior e a meta, mostrado no gráfico de Pareto da Figura 7.

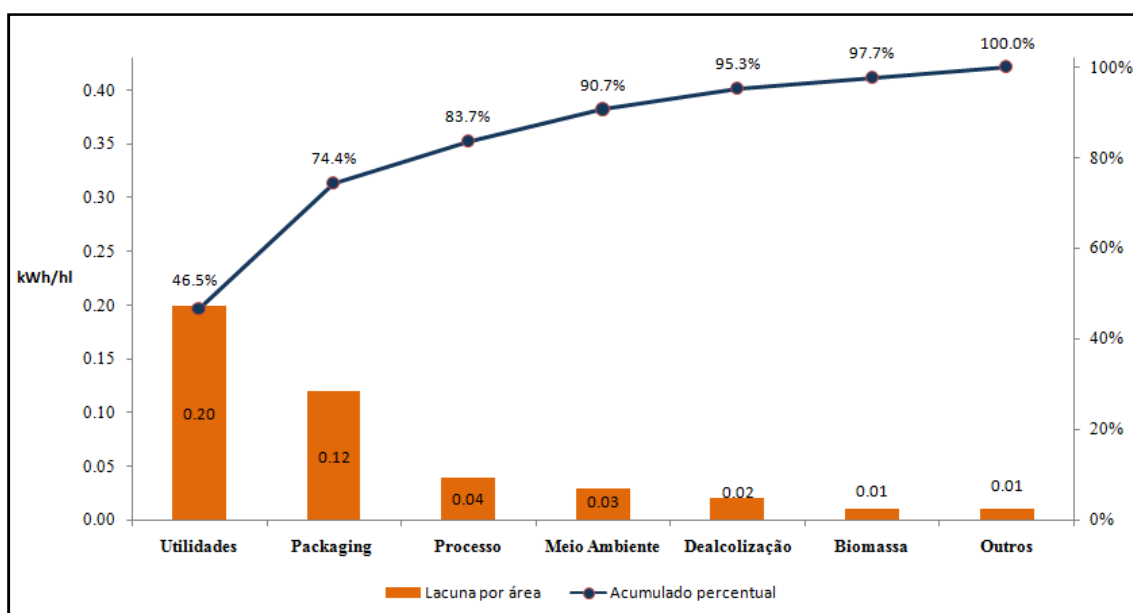


Figura 7 – Lacunas por área para alcançar a meta (AUTOR).

Considerando que as áreas de maior consumo são Utilidades e *Packaging* e que essas duas áreas apresentam as maiores lacunas para a meta, conforme Figura 6 e Figura 7 respectivamente, essas áreas são estratificadas separadamente para identificação dos maiores consumidores.

Na área de Utilidades, muitos equipamentos estão ligados ao mesmo ponto de medição. Por exemplo, compressores de ar e compressores de amônia estavam ligados no mesmo ponto de medição, o que dificulta a estratificação por equipamento. No entanto, os equipamentos com maiores consumos de energia elétrica são responsáveis pela geração de frio e pela geração de ar comprimido. Dentre esses equipamentos estão motores de alta potência que são acionados ininterruptamente. Logo, os principais

pontos de economia estão nesses dois sistemas. Esse fato confirma o apontado pelos trabalhos de Tassini (2012) e Mendes (2014), no qual os autores afirmam que os maiores consumidores de energia elétrica em uma cervejaria são os sistemas de geração de frio e ar comprimido.

Na área de *Packaging* é identificada a lacuna por linha de produção. Como dito anteriormente, há quatro linhas de produção na cervejaria: Linha 502, Linha 503, Linha 511 e Linha 541. As lacunas referentes ao consumo do ano anterior e a meta estabelecida podem ser vistas no diagrama de Pareto da Figura 8.

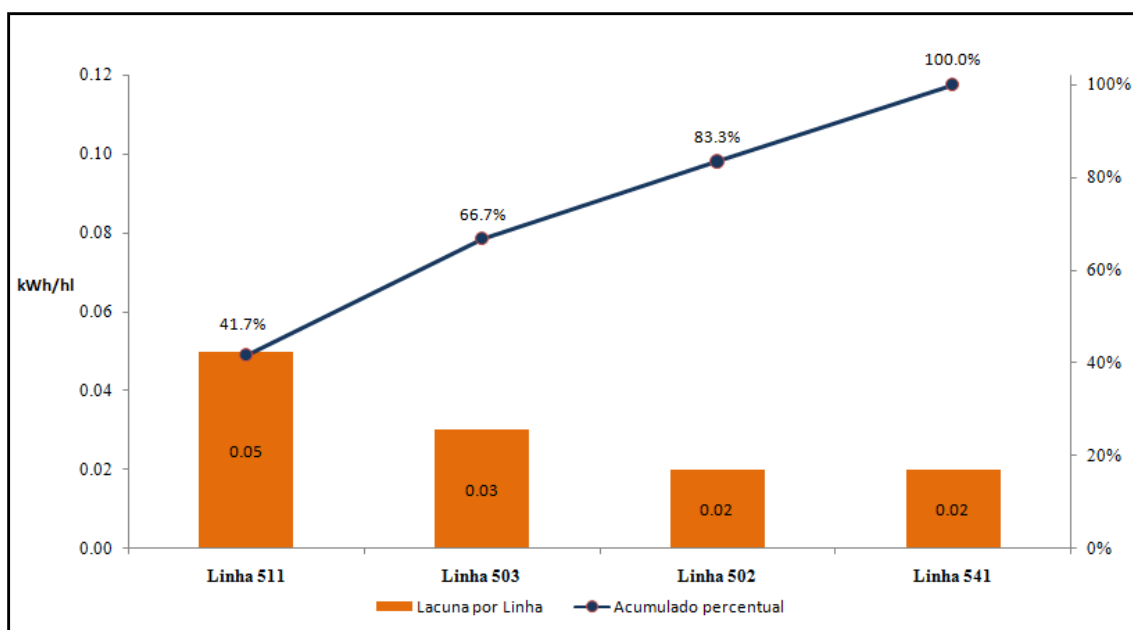


Figura 8 – Lacunas da área de *Packaging* para alcançar a meta (AUTOR).

Com as informações da Figura 8, sabe-se que a Linha com maior lacuna para alcançar a meta é a Linha 511. Essa é a linha que entrega maior volume e tem maior impacto no consumo de energia elétrica da cervejaria.

As demais áreas não são estratificadas em subáreas, pois não apresentam medidores de energia elétrica para cada subárea. No entanto, para cada uma dessas áreas é importante fazer o levantamento dos equipamentos de maior potência e perfil de utilização para ser discutido na etapa seguinte, a análise do processo.

3.1.4 Análise do processo

Na etapa de análise do processo, as informações levantadas na análise do problema devem ser discutidas com especialistas para identificar pontos de melhoria. O principal objetivo nessa etapa é identificar as causas fundamentais dos problemas encontrados e fazer a priorização das ações para eliminar os problemas.

O meio para realizar essa etapa é através de reuniões utilizando o método *Brainstorming* com especialistas de cada área da cervejaria. As idéias que surgem das reuniões são organizadas em Diagrama de Causa e Efeito.

Na medida em que a identificação das causas é concluída, a priorização das causas mais relevantes é feita utilizando o método de priorização descrito na Tabela 1.

Nesse ponto, é importante salientar a presença de especialistas técnicos das áreas na identificação das possíveis causas do problema. Além disso, a participação de pessoas de outras áreas, relacionadas diretamente ou indiretamente com a área estudada também é importante. Para que a reunião seja produtiva, é necessário que haja uma pessoa para conduzir as discussões e anotar todas as idéias expostas.

Para esse estudo, são identificados os seguintes problemas para serem discutidos nas reuniões utilizando o método *Brainstorming*:

- . Alto consumo na geração de frio (Problema 1);
- . Alto consumo na geração de ar comprimido (Problema 2);
- . Alto consumo na Linha 511 (Problema 3);
- . Alto consumo nas áreas de Processo e Meio Ambiente (Problema 4).

Esses problemas são selecionados para análise porque são as áreas que apresentam maiores lacunas entre o índice real do ano anterior e a meta proposta. Ressalta-se que o detalhamento das causas e ações para sanar os problemas identificados envolvem aprofundamento técnico e não estão no escopo desse trabalho.

As causas do problema de alto consumo na geração de frio (Problema 1) estão apresentadas no Diagrama de Causa e Efeito da Figura 9.

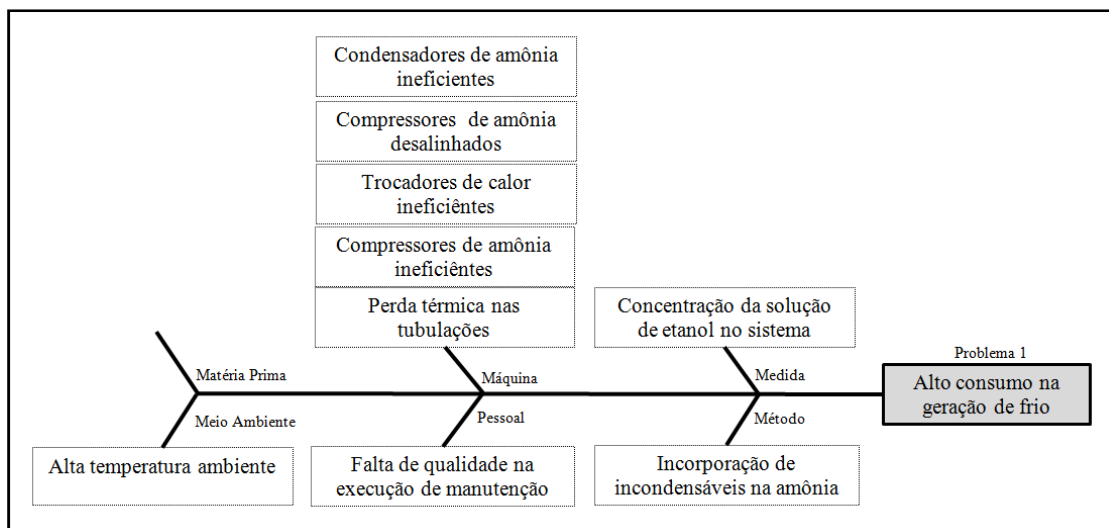


Figura 9 – Diagrama de Causa e Efeito para o Problema 1 (AUTOR).

A priorização de causas é feita utilizando o método da Tabela 1. A Tabela 4 mostra a priorização das causas do Problema 1.

Tabela 4 – Priorização para as causas do Problema 1.

Causas	Facilidade	Autonomia	Impacto	Resultado
Concentração da solução de etanol no sistema	5	5	3	75
Incorporação de incondensáveis na amônia	5	5	5	125
Falta de qualidade na execução de manutenção	3	5	5	75
Alta temperatura ambiente	1	1	3	3
Perda térmica nas tubulações	1	3	5	15
Compressores de amônia ineficientes	3	5	5	75
Trocadores de calor ineficientes	3	5	5	75
Compressores de amônia desalinhados	3	5	5	75
Condensadores de amônia ineficientes	3	5	5	75

Fonte: Autor.

Das causas descritas na Tabela 4, a priorização é de acordo com a coluna Resultado, priorizando da maior para a menor. As causas priorizadas são: incorporação de incondensáveis na amônia, falta de qualidade na execução de manutenção, compressores de amônia ineficientes e condensadores de amônia ineficientes.

As causas identificadas para o problema de alto consumo na geração de ar comprimido estão no Diagrama de Causa e Efeito da Figura 10.

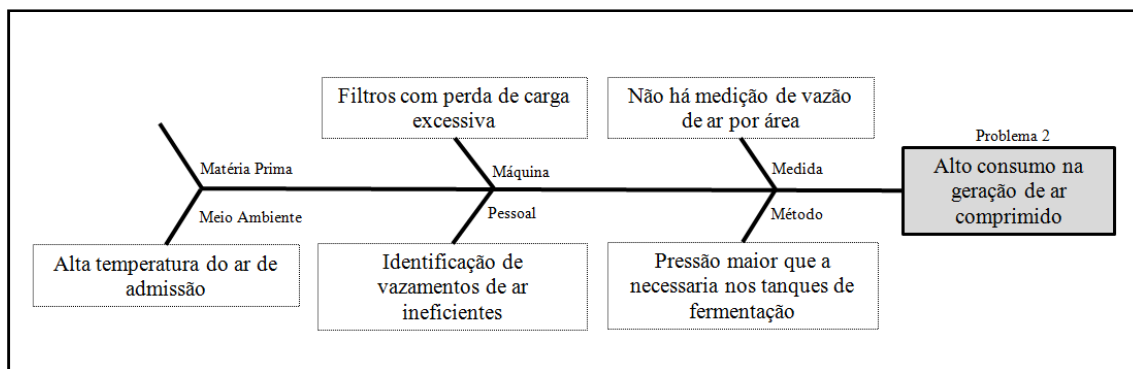


Figura 10 – Diagrama de Causa e Efeito para o Problema 2 (AUTOR).

A priorização de causas é feita utilizando o método da Tabela 1. A Tabela 5 mostra a priorização das causas do Problema 2.

Tabela 5 – Priorização para as causas do Problema 2.

Causas	Facilidade	Autonomia	Impacto	Resultado
Não há medição de vazão de ar por área	1	3	3	9
Pressão maior que necessária nos tanques	3	5	5	75
Identificação de vazamentos de ar ineficientes	3	5	5	75
Alta temperatura do ar de admissão	1	1	3	3
Filtros com perda de carga excessiva	3	5	5	75

Fonte: AUTOR.

Das causas descritas na Tabela 5, a priorização é de acordo com a coluna Resultado, priorizando da maior para a menor. As causas “não há medição de vazão de ar por área” e “alta temperatura do ar de admissão” não são priorizadas.

Na área de *Packaging*, o problema identificado é o alto consumo na Linha 511. Essa linha de produção apresenta características diferentes das outras. Ela tem dois fornos elétricos de potência 28 kW que funcionam como empacotadoras, gerando grande consumo de energia elétrica. As causas do problema estão no Diagrama de Causa e Efeito da Figura 11.

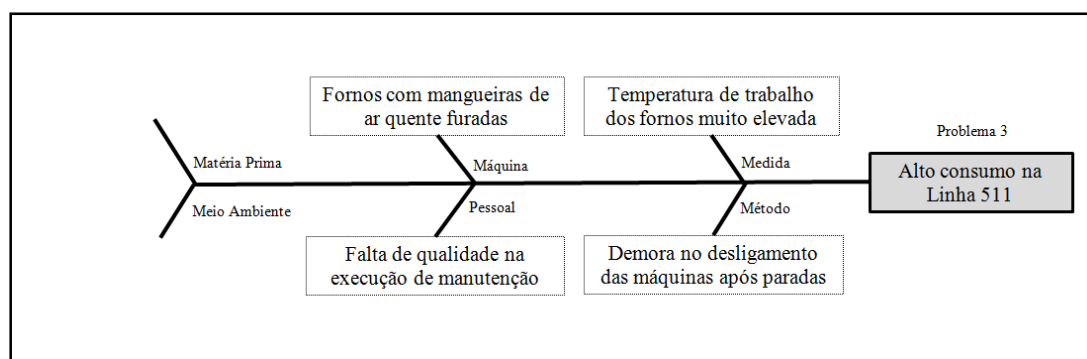


Figura 11 – Diagrama de Causa e Efeito para o Problema 3 (AUTOR).

A priorização de causas é feita utilizando o método da Tabela 1. A Tabela 6 mostra a priorização das causas do Problema 3.

Tabela 6 – Priorização para as causas do Problema 3.

Causas	Facilidade	Autonomia	Impacto	Resultado
Temperatura de trabalho dos fornos elevada	3	3	5	45
Demora no desligamento das máquinas	5	5	5	125
Falta de qualidade na execução de manutenção	3	5	5	75
Fornos com mangueiras de ar quente furadas	3	5	5	75

Fonte: Autor.

A única causa que não é priorizada no problema 3 é a “falta de qualidade na execução de manutenção”.

Para o problema de alto consumo nas áreas de Processo e Meio Ambiente são identificadas as causas e organizada no Diagrama de Causa e Efeito, conforme mostra a Figura 12.

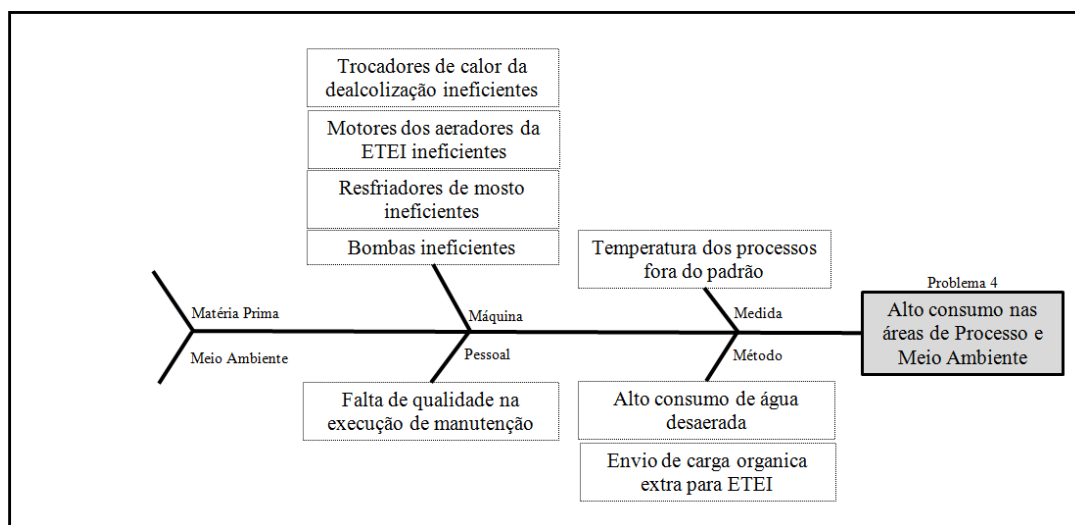


Figura 12 – Diagrama de Causa e Efeito para o Problema 4 (AUTOR).

As causas do Problema 4 são priorizadas usando o método da Tabela 1. A priorização das causas do Problema 4 podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7 – Priorização para as causas do Problema 4.

Causas	Facilidade	Autonomia	Impacto	Resultado
Temperatura dos processos fora do padrão	5	5	5	125
Alto consumo de água desaerada	3	3	5	45
Envio de carga orgânica extra para ETEI	3	5	5	75
Falta de qualidade na execução de manutenção	3	5	5	75
Bombas ineficientes	3	5	5	75
Resfriadores de mosto ineficientes	3	5	5	75
Motores dos aeradores da ETEI ineficientes	1	3	5	15
Trocadores de calor Dealcolização ineficientes	3	5	5	75

Fonte: Autor.

As causas do Problema 4 são priorizadas conforme a coluna Resultados na Tabela 7. Com a exceção da causa “motores dos aeradores da ETEI ineficientes”, todas as outras causas passaram para a análise dos 5 Porquês.

Tendo priorizado as causas dos problemas identificados, a etapa seguinte é a análise dos 5 Porquês. Como apresentado na seção 2.3, a análise dos 5 Porquês consiste em identificar a causa fundamental do problema, sempre questionando o porquê da causa anterior e terminado com as ações para sanar a causa fundamental.

A análise dos 5 Porquês da causa “incorporação de incondensáveis na amônia” do Problema 1 é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Análise dos 5 Porquês da causa Incorporação de incondensáveis na amônia do Problema 1.

Incorporação de incondensáveis na amônia	
1° Por que	A presença de incondensáveis na amônia reduz a capacidade de refrigeração do sistema
2° Por que	Tubulações são fechadas e reabertas conforme demanda de frio no Processo
3° Por que	Tubulações são preenchidas com ar atmosférico e com resquícios de óleo
4° Por que	Amônia incorpora sujidade (óleo e ar) nas tubulações
5° Por que	Não há purga (retirada da sujidade) periodicamente da amônia
Ações	1 - Implantar procedimento periódico de purga de incondensáveis na amônia 2 - Monitorar a presença de incondensáveis através da relação Pressão x Temperatura da amônia

Fonte: Autor.

O resultado da análise dos 5 Porquês da Tabela 8 são duas ações para sanar o problema de incorporação de incondensáveis na amônia. Logo, essas duas ações são inclusas no Plano de Ação.

As demais causas priorizadas nos problemas 2, 3 e 4 também são analisadas através da técnica dos 5 Porquês. No entanto, o passo a passo dos 5 Porquês das outras causas não são apresentados nesse trabalho, pois a técnica mostrada na Tabela 8 apenas se repete para as demais causas. Em suma, as causas priorizadas são:

. Incorporação de incondensáveis na amônia;

- . Falta de qualidade na execução de manutenção do sistema de frio;
- . Compressores de amônia ineficientes;
- . Condensadores de amônia ineficientes;
- . Pressão maior que a necessária nos tanques de fermentação e maturação;
- . Rotas de vazamentos de ar comprimido ineficientes;
- . Filtros com perda de carga excessiva;
- . Temperatura de trabalho dos fornos elevada;
- . Demora no desligamento das máquinas;
- . Fornos com mangueiras de ar quente furadas;
- . Temperatura dos processos fora do padrão;
- . Envio de carga orgânica extra para ETEI;
- . Bombas ineficientes;
- . Resfriador de mosto, água e etanol ineficientes.

O resultado da análise dos 5 Porquês para essas causas resulta em um conjunto de ações para atacar o problema inicial de alto consumo de energia elétrica da cervejaria. Portanto, como resultado da etapa de planejamento, é criado o Plano de Ação apresentado na Tabela 9. Na elaboração do Plano de Ação é utilizada a técnica dos 5W2H conforme apresentado no tópico 2.3.

Tabela 9 – Plano de ação para solucionar o problema.

O que	Por que	Quem	Quando	Onde	Como	Custo
Implantar procedimento periódico de purga de incondensáveis na amônia	Melhorar desempenho de refrigeração	Supervisor Utilidades	4º mês	Utilidades	Criar procedimento, treinar equipe e implantar na rotina operacional	R\$ 0,00
Monitorar a presença de incondensáveis através da relação Pressão x Temperatura da amônia	Controlar a presença de incondensáveis na amônia	Supervisor Utilidades	4º mês	Utilidades	Criar planilha eletrônica e implantar na rotina operacional	R\$ 0,00
Criar procedimento de identificação/saneamento de ar comprimido	Eliminar vazamentos de ar comprimido	Supervisor Elétrica	4º mês	Toda cervejaria	Criar procedimento e treinar operadores	R\$ 0,00
Monitorar a identificação e saneamento de vazamentos de ar comprimido nas áreas	Monitorar a evolução do saneamento de ar comprimido	Supervisor Elétrica	4º mês	Toda cervejaria	Criar planilha eletrônica e implantar na rotina operacional	R\$ 0,00
Substituir mangueiras de ar quente furadas dos fornos da empacotadora	Eliminar vazamentos de ar quente	Supervisor Mecânica	4º mês	Packaging	Comprar mangueiras e substituir no equipamento	R\$ 500,00
Ajustar temperaturas de operação da área de Processo	Adequar temperaturas de operação conforme padrão	Supervisor de Automação	4º mês	Processo	Revisar padrões operacionais e criar procedimentos de manutenção para automação	R\$ 0,00
Substituir filme usado na empacotadora por filme que necessitam menor temperatura para formação do pacote	Diminuir temperatura de operação dos fornos das empacotadoras	Supervisor Logística	5º mês	Packaging	Entrar em contato com fornecedores e solicitar novos filmes	R\$ 0,00
Revisar procedimento de desligamentos das máquinas ao fim da produção	Evitar perdas por máquinas ligadas fora produção	Supervisor Elétrica	5º mês	Packaging	Revisar procedimento com supervisores das linhas de produção e inserir na rotina operacional	R\$ 0,00

Incluir livro de desligamento das máquinas das linhas de produção	Registrar horário das paradas para monitorar	Supervisor Elétrica	5º mês	Packaging	Confeccionar livro com checklist de equipamentos e campo para anotar horário de	R\$ 0,00
Treinar equipe nos novos procedimentos de manutenção em relação a eficiência energética	Melhorar o desempenho e confiabilidade dos equipamentos	Supervisores Manutenção Elétrica e Mecânica	5º mês	Área de manutenção	Treinar equipe de técnicos mecânicos e eletricitas a executar procedimentos de manutenção	R\$ 0,00
Alinhar os compressores de amônia	Eliminar perdas mecânicas nos acoplamentos	Supervisor Mecânica	5º mês	Utilidades	Usar aparelho de alinhamento a laser	R\$ 0,00
Monitorar a eficiência dos compressores de amônia	Controlar o desempenho dos compressores	Supervisor Elétrica	5º mês	Utilidades	Aplicar plano de manutenção preventiva de check de eficiência dos compressores	R\$ 0,00
Acionar os ventiladores dos condensadores evaporativos conforme a temperatura de bulbo úmido	Melhorar o desempenho do sistema de refrigeração	Supervisor Automação	5º mês	Utilidades	Aplicar lógica de automação no acionamento dos ventiladores conforme temperatura de bulbo úmido	R\$ 500,00
Incluir procedimento de manutenção dos bicos aspersores dos condensadores evaporativos para garantir que não estejam obstruídos	Melhor desempenho térmico dos condensadores	Supervisor Utilidades	5º mês	Utilidades	Criar procedimento de manutenção, treinar equipe e implantar plano de manutenção	R\$ 0,00
Separar a linha de ar comprimido em duas: Maturação e Fermentação	Diminuir a perda de carga na tubulação	Supervisor Mecânica	6º mês	Adega	Criar nova estação de ar para alimentar linha de ar comprimido em dois lados do anel de pressurização	R\$ 6.000,00
Criar um plano de manutenção para substituição dos filtros de admissão e descarga dos compressores de ar	Diminuir a perda de carga através dos filtros	Supervisor Utilidades	6º mês	Utilidades	Criar procedimento de troca e limpeza periódica e monitorar a perda de carga através dos filtros	R\$ 0,00
Instalar medidores de pressão na admissão dos compressores de ar comprimido	Monitorar perda de carga através dos filtros de admissão	Supervisor Elétrica	6º mês	Utilidades	Instalar vacuômetros nos dutos de admissão	R\$ 500,00
Construir um sistema de captação de sobrenadante nos tanques decantadores de mosto	Evitar envio de carga orgânica extra para ETEI	Supervisor Mecânica e Automação	6º mês	Processo	Instalar tubulações para captar sobrenadante nos tanques decantadores de mosto	R\$ 2.500,00
Avaliar desempenho das bombas de todas as áreas	Aumentar eficiência das bombas através de manutenção preventiva	Supervisor Mecânica	6º mês	Utilidades, Processo e Meio Ambiente	Criar procedimento para calcular eficiência das bombas, treinar equipe de técnicos e aplicar plano de manutenção	R\$ 0,00
Implantar plano de manutenção para limpeza química periódica dos trocadores de calor	Aumentar efetividade de troca térmica dos trocadores de calor	Supervisor Elétrica	6º mês	Utilidades e Processo	Revisar procedimentos de limpeza química, treinar operadores no procedimento e aplicar plano de	R\$ 0,00

Fonte: Autor.

Todas as ações da Tabela 9 surgiram da análise dos 5 Porquês. No entanto, ações corretivas podem ser traçadas durante a execução do Plano de Ação com origem na análise do problema.

A última coluna mostra o custo financeiro, sendo esse um importante aspecto a ser considerado na elaboração de um plano de ação e que geralmente é o principal fator limitante para as empresas. O custo considerado nesse Plano de Ação é referente a aquisição de equipamentos, materiais e serviços externos. Ressalta-se que o custo associado com a mão de obra de colaboradores internos da empresa não é analisado nesse estudo. No entanto, essa é uma variável possível de ser analisada e que valoriza o Plano de Ação.

3.1.5 Mapeamento do processo

Durante a etapa de análise do processo, é importante definir os indicadores ligados ao resultado desejado, pois estes servem para identificar anomalias e acompanhar os resultados das ações realizadas. O mapeamento de processo para o consumo de energia elétrica da cervejaria pode ser visto na Figura 13.

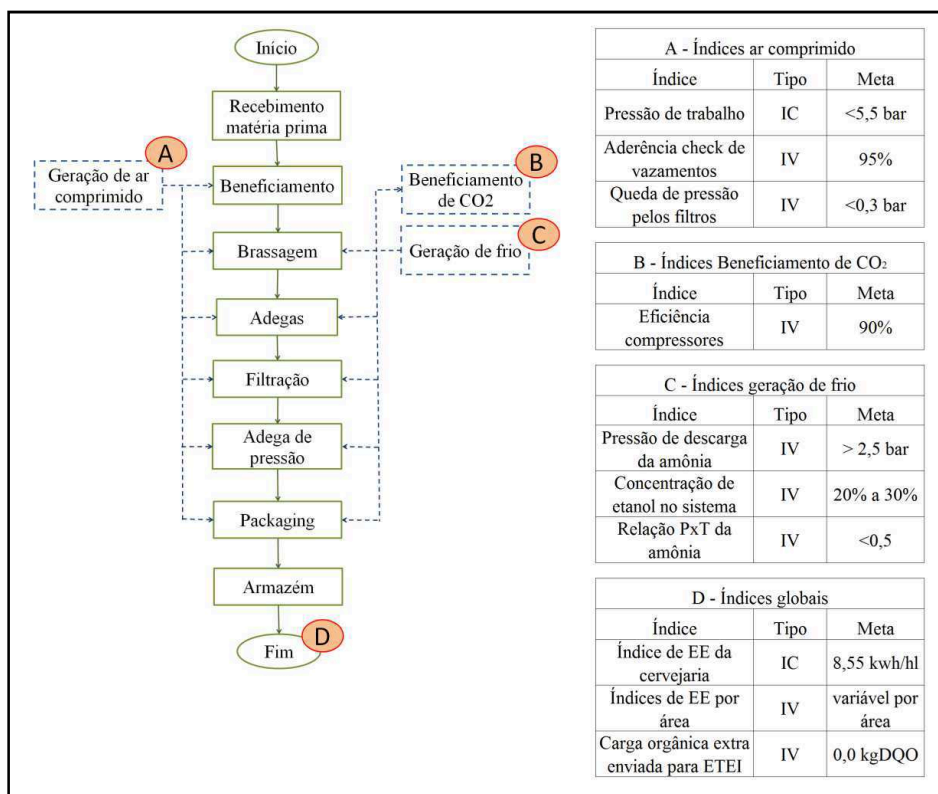


Figura 13 – Mapeamento de processo para definição dos indicadores (AUTOR).

3.2 Do

Basicamente, a etapa *Do* consiste na execução do Plano de Ação elaborado na etapa anterior. O sucesso dessa etapa depende fortemente da qualidade e detalhamento do Plano de Ação, pois quanto mais específica for a ação maior a chance de sucesso e agilidade na execução.

O acompanhamento do Plano de Ações deve ser feito por meio de reuniões periódicas, chamado Grupo de Melhoria de Resultado (GMR). O GMR é formado por colaboradores de todas as áreas da empresa e de todos os níveis hierárquicos. Nessa

reunião deve-se discutir a evolução dos resultados, andamento das ações, fase do Ciclo PDCA e acompanhamento dos ICs e IVs, como os apresentados na Figura 13.

3.3 Check

A etapa de *Check* consiste no acompanhamento dos indicadores levantados no mapeamento de processo. Uma ação importante para divulgar os resultados e manter os colaboradores da empresa envolvidos e comprometidos com o alcance das metas é divulgar diariamente informativos indicando os valores dos principais ICs e IVs do dia anterior.

Nessa etapa são avaliados os resultados. Logo, ela sinaliza a efetividade do Plano de Ação traçado na etapa anterior. Caso os resultados sejam positivos, isso significa que o Plano de Ação foi efetivo e as boas práticas devem ser padronizadas. Caso os resultados sejam negativos, os aprendizados devem ser guardados para que os erros não se repitam.

3.4 Act

Os aprendizados obtidos durante a execução do Plano de Ação devem ser padronizados; isso é feito na etapa *Act*. O grande objetivo dessa etapa é fazer com que as ações que melhoraram os resultados possam ser executadas novamente, perpetuando as boas práticas independentemente da administração da empresa ou das pessoas que ocupam cargos e desempenham funções.

A padronização ocorre criando um documento que descreve detalhadamente a ação a ser feita, descrevendo quem, quando e como deve ser feito. Esse documento é o padrão, e todos os envolvidos, supervisores ou operadores, devem ser treinados nesse novo procedimento.

Essa é a última etapa do Ciclo PDCA e reflete os resultados do ciclo. Os procedimentos e padrões gerados nessa etapa surgem de forma natural caso o ciclo tenha sido assertivo no tratamento do problema. Essa etapa de finalização serve de preparo para o ciclo seguinte; o Ciclo SDCA.

3.5 Ciclo SDCA

Os bons resultados devem ser padronizados para que as melhorias não sejam perdidas ou entrem em desuso. A padronização foi mostrada na etapa *Act* da seção 3.4. No entanto, após o fechamento de um Ciclo PDCA, o Ciclo SDCA deve ser usado para perpetuar os aprendizados gerados no ciclo anterior. Esse ciclo é uma evolução do Ciclo PDCA e é usado como referência até que uma nova melhoria ou alteração no processo ocorra. O Ciclo SDCA nesse estudo de caso teve duração de um mês.

O Ciclo SDCA é montado com o propósito de organizar as ações já padronizadas, estabelecer treinamentos nos padrões, avaliar a execução dos padrões pela operação e traçar ações a partir de falhas na execução dos padrões.

Na etapa D, que significa treinar a operação nos padrões, é realizado um cronograma de treinamento, que deve ser atualizado com novas datas de treinamento caso seja identificada falhas da operação na execução dos padrões.

A realização dos treinamentos não garante que a execução dos padrões está sendo feita da forma correta. Por isso, a próxima etapa do Ciclo SDCA é a verificação da execução dos padrões; etapa C. A verificação da execução dos padrões é feita através do acompanhamento da operação. Para isso, é realizado um cronograma de acompanhamento dos padrões para avaliar a qualidade em que eles são executados. Os acompanhamentos são feitos pelos supervisores de cada área, sendo que os supervisores devem apresentar nas Reuniões de GMR os resultados do acompanhamento da execução dos padrões. Os resultados do acompanhamento da execução dos padrões alimentam a etapa A do Ciclo SDCA. Essa etapa consiste nas ações para sanar problemas identificados na execução dos padrões.

Após a conclusão das ações levantadas na etapa A do Ciclo SDCA, o ciclo é encerrado. Assim, outro ciclo pode ser iniciado e a execução dos padrões novamente avaliada, fazendo com que o processo seja continuamente melhorado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação dos ciclos PDCA e SDCA na cervejaria. As ações apresentadas na Tabela 9 (Plano de Ação) foram integralmente realizadas e refletem no resultado de consumo de energia elétrica pela

cervejaria. Os resultados de índice mensal de energia elétrica para a cervejaria são apresentados na Figura 14.

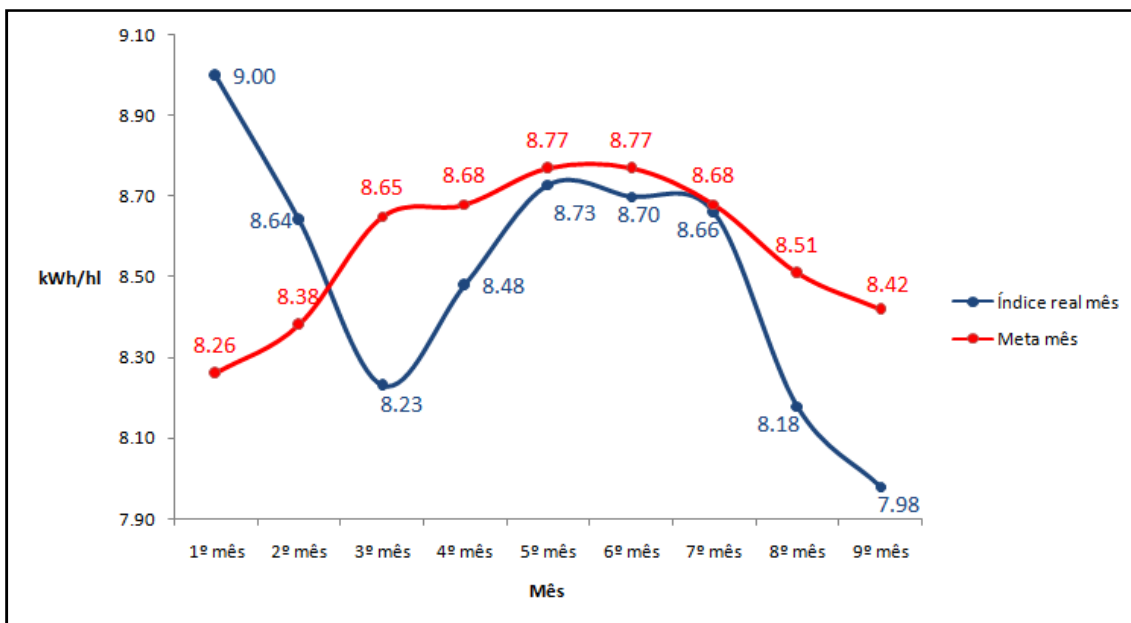


Figura 14 – Resultado do índice de energia elétrica mensal (AUTOR).

Os resultados apresentados na Figura 14 mostram que a partir de 3º mês, ou seja, dois meses após o início da aplicação da metodologia, o índice de energia elétrica ficou dentro da meta.

Em relação à meta acumulada, que leva em consideração o consumo de energia elétrica acumulado e a PL produzida ao longo dos meses, o resultado do índice acumulado pode ser visto na Figura 15.

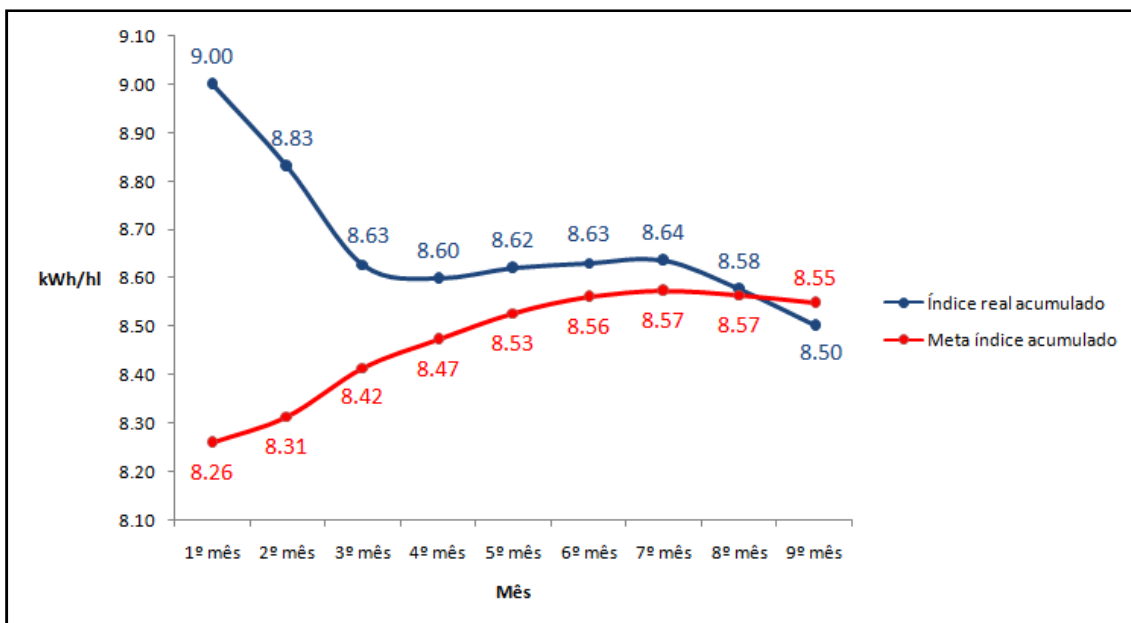


Figura 15 - Resultado do índice acumulado de energia elétrica (AUTOR).

Os resultados apresentados na Figura 15 indicam que a meta final de índice de energia elétrica foi alcançada, chegando ao valor de 8,50 kWh/hl para uma meta de 8,55 kWh/hl. Embora os indicadores mensais alcancem a meta a partir do terceiro mês, o índice acumulado foi alcançado apenas no último mês. Os resultados indicaram uma evolução do desempenho da cervejaria ao longo da aplicação da metodologia proposta.

O melhor desempenho energético da cervejaria reflete a correta identificação e tratamento das ineficiências do processo produtivo. Isso só possível com a participação de especialistas que detenham conhecimento técnico do processo analisado e embasamento teórico das ações de eficiência a serem realizadas. Por isso a participação de colaboradores de diferentes funções e níveis hierárquicos aumentam as chances sucesso na identificação de ineficiências.

Ainda em relação ao resultado de consumo de energia elétrica pela cervejaria, a Figura 16 faz uma comparação com os resultados no mesmo período do ano anterior.

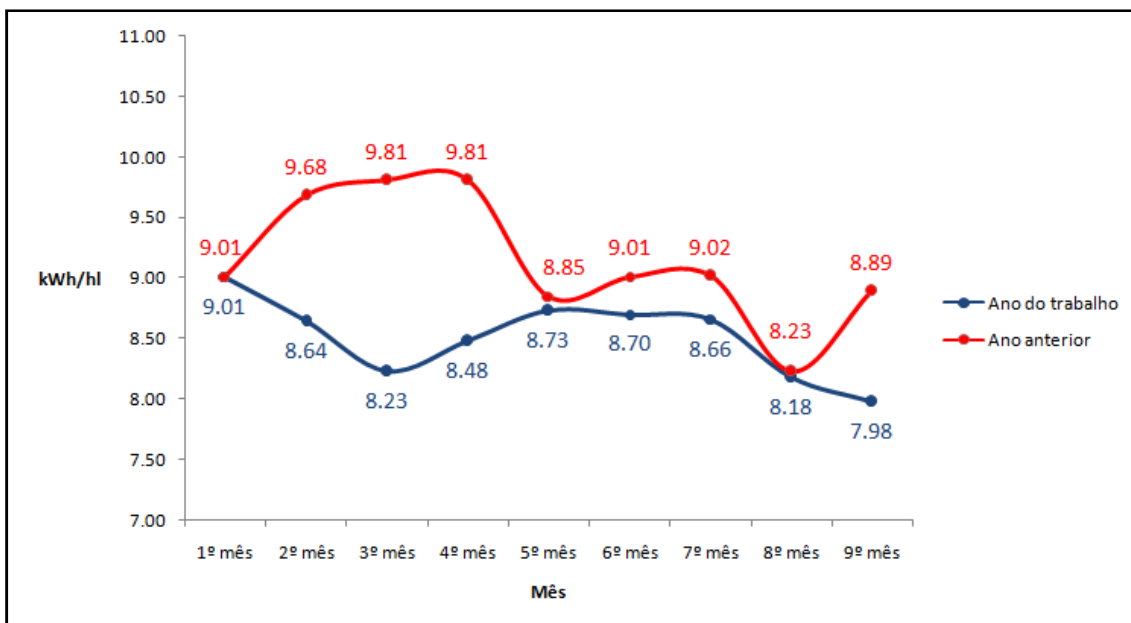


Figura 16 – Comparação dos índices do ano anterior e o ano do trabalho (AUTOR).

A Figura 16 mostra que com exceção do primeiro mês, todos os outros meses tiveram o indicador menor do que o ano anterior. Isso mostra que a cervejaria conseguiu produzir a mesma quantidade de cerveja consumindo menos energia elétrica.

Em relação ao resultado da aplicação das ferramentas de gestão no consumo de energia elétrica pela cervejaria, o principal resultado de um Ciclo PDCA são os padrões elaborados durante o ciclo. A lista de padrões mostrados na Tabela 10 é o resultado da aplicação do PDCA na gestão de consumo de energia elétrica da cervejaria.

Tabela 10 – Resultado do Ciclo PDCA.

Ação	Padrão	Dono	Treinador	Treinado
Realizar purga de incondensáveis do sistema de amônia	Padrão 1	Supervisor Utilidades	Supervisor Utilidades	Time Utilidades
Realizar check de estanqueidade de ar comprimido	Padrão 2	Supervisor Elétrica	Supervisor Elétrica	Toda cervejaria
Calibrar setpoints de temperatura e produção de água desaerada	Padrão 3	Supervisor Filtração	Supervisor Automação	Time Filtração
Calibrar setpoints de temperatura e vazão dos resfriadores de mosto	Padrão 4	Supervisor Brassagem	Supervisor Automação	Time Brassagem
Checar estanqueidade das válvulas de etanol	Padrão 5	Supervisor Utilidades	Supervisor Mecânica	Time Mecânica
Realizar check de eficiência dos resfriadores de etanol	Padrão 6	Supervisor Utilidades	Supervisor Elétrica	Time Utilidades
Checar pulverização dos bicos aspersores das torres de resfriamento	Padrão 7	Supervisor Utilidades	Supervisor Utilidades	Time Utilidades
Calcular a eficiência dos compressores de amônia	Padrão 8	Supervisor Utilidades	Supervisor Elétrica	Time Utilidades
Captar sobrenadante nos tanques decantadores de trube	Padrão 9	Supervisor Brassagem	Supervisor Automação	Time Brassagem
Checar a eficiências das bombas da Utilidades e Processo	Padrão 10	Supervisor Utilidades e	Supervisor Mecânica	Time Mecânica
Checar a queda de pressão através dos filtros de saída dos compressores de ar	Padrão 11	Supervisor Utilidades	Supervisor Utilidades	Time Utilidades
Realizar limpeza química periódica nos trocadores de calor	Padrão 12	Supervisor Utilidades	Supervisor Utilidades	Time Utilidades

Fonte: Autor.

Os padrões que resultam da aplicação da ferramenta devem ser gerenciados de forma estratégica. Esse gerenciamento deve ser feito com o objetivo de cumprir os padrões com a periodicidade determinada e que o histórico de execuções seja salvo para futuras análises. Nessa tarefa, o sistema de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) ganha espaço como meio de controle de padrões. Atualmente há alguns *softwares* e ferramentas específicas para gestão do PCM. Na cervejaria em que a metodologia foi aplicada utiliza-se o *software* de gerenciamento de manutenção chamado Systems, Applications & Products in Data Processing (SAP). Esse *software* permite que planos de manutenção sejam cadastrados e o planejamento, execução e conclusão das ordens de manutenção sejam feitas.

Os donos das ações de padronização são os supervisores da área. Entretanto, o treinador do procedimento é o supervisor responsável pela área do conhecimento na qual o procedimento de manutenção pertence. Os treinados são os operadores ou técnicos que executam os procedimentos de manutenção.

Sobre os resultados do Ciclo SDCA, os resultados são as correções ou alterações dos procedimentos padronizados, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados do Ciclo SDCA.

Ação	Dono	Prazo
Retreinar a equipe da Utilidades no Padrão 6	Supervisor Utilidades	9º mês
Comprar ferramentas necessárias para execução do Padrão 5	Supervisor Mecânica	9º mês
Alterar procedimentos do Padrão 2 devido mudança no processo	Supervisor Elétrica	9º mês

Fonte: Autor.

A Tabela 11 mostra a finalidade da aplicação de um sistema de melhoria contínua baseada no Ciclo SDCA: encontrar anomalias e atualizar os procedimentos já padronizados. Esses resultados confirmam o esperado da utilização do Ciclo SDCA que é manter os processos analisados em um nível de qualidade já alcançado. Como essa é uma ferramenta de melhoria contínua, novos ciclos podem ser aplicados e novas atualizações nos padrões realizadas.

Em geral, os resultados de desempenho energético da cervejaria confirmam a efetividade da metodologia utilizada como forma de gestão de energia elétrica em uma cervejaria. Como destaca a bibliografia, os cuidados na etapa de planejamento e o conhecimento profundo sobre o processo a ser analisado são fundamentais na elaboração do Plano de Ação e, conseqüentemente, no reflexo do desempenho do processo.

5 CONCLUSÃO

Com a crescente necessidade de economizar energia elétrica devido a fatores como competitividade e sustentabilidade, a gestão e uso consciente desse recurso se fazem necessárias. Assim, esse Trabalho de Conclusão de Curso abordou a utilização das ferramentas de gestão baseadas no Ciclo PDCA na melhoria do consumo de energia elétrica em uma cervejaria.

A análise do histórico do consumo e perfil de uso de energia elétrica é realizada para que sejam identificadas as áreas de maior consumo e com maior lacuna para alcance das metas. As áreas com maiores oportunidades identificadas foram a geração de frio e ar comprimido.

O trabalho destaca a importância da participação de colaboradores de diferentes áreas e níveis hierárquicos dentro da empresa em todas as etapas do Ciclo

PDCA, pois como energia elétrica é um recurso de ampla utilização, todos devem estar envolvidos e comprometidos com o alcance das metas.

O Plano de Ação elaborado na etapa de planejamento cumpriu com o objetivo de ser composto por ações de eficiência energética de baixo custo financeiro. De fato, a maioria das ações do plano é baseada em revisão e alteração de procedimentos operacionais e não em desenvolvimento de projetos e alterações estruturais.

Os resultados de índice de energia elétrica e o alcance da meta mostram que o Plano de Ação foi assertivo. Para uma meta de 8,55 kWh/hl o índice alcançado foi de 8,50 kWh/hl. O principal resultado do trabalho é a lista de padrões que surgiram através da análise da causa fundamental dos problemas priorizados, sendo a redução do índice de energia elétrica uma consequência da aplicação das ferramentas de gestão.

A realização de um Ciclo SDCA permitiu que as ações padronizadas pudessem ser reavaliadas ainda durante a realização do trabalho. A elaboração de um padrão não significa que a solução para determinado problema está pronto. Pelo contrário, um padrão deve constantemente ser criticado, com o objetivo de identificar melhorias e adaptar o padrão a alterações do processo produtivo. Além de identificar possíveis melhorias nos padrões, o Ciclo SDCA permite que a equipe que executa o padrão esteja sempre treinada, eliminando possíveis falhas operacionais.

A efetividade do sistema de gestão de energia utilizado deve ser avaliada com cautela em relação à aplicação desse mesmo sistema de gestão em outras cervejarias e em outros processos produtivos. Isso é devido às limitações do trabalho, por exemplo, a metodologia foi aplicada em apenas uma cervejaria. A aplicação da metodologia utilizada nesse trabalho em uma amostra maior de estudo de casos irá auxiliar no desenvolvimento desse sistema de gestão, identificando melhorias e aprimorando as ferramentas. Como sugestão a trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação e aprimoramento desse sistema de gestão de energia elétrica aplicada em outras cervejarias e em outros setores da indústria.

Como conclusão, o sistema de gestão de energia elétrica baseado no Ciclo PDCA mostrou-se efetivo no alcance de resultados. Embora não tenha sido apresentado o detalhamento técnico, as ações de eficiência energética que foram utilizadas possibilitaram o alcance da meta de índice de energia elétrica para a cervejaria em que a metodologia foi aplicada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVEZ, Lindemberg Martins Ferreira. **Análise físico-química de cervejas tipo pilsen comercializadas em Campina Grande na Paraíba.** 2014. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

ANDRADE, Fábio Felipe de. **O método de melhorias PDCA.** 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BATISTA, Oureste Elias. **Redução do custo da energia elétrica em ambientes industriais por meio de uma estratégia de baixo custo em gestão energética.** 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

BENJAMIN, Samuel Jebaraj; MARATHAMUTHU, M. Srikamaladevi; MUTHAIYAH, Saravanan. Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. **International Journal Of Quality & Reliability Management.** Malásia, p. 527-540. 2010.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (Org.). **Plano Decenal de Expansão de Energia.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017.

BRIGGS, Dennis E. et al. **Brewing Science and Practice.** Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004. 863 p.

BUNSE, Katharina et al. Integrating energy efficiency performance in production management e gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal Of Cleaner Production.** Suíça, p. 667-669. 2011.

GRAEML, Alexandre Reis; PEINALDO, Jurandir. **Administração da Produção: Operações industriais e de serviços.** Curitiba: Unicenp, 2007. 748 p.

GUIMARÃES, Julio Cesar Ferro de et al. Inovação no processo e melhoria contínua em uma indústria de plásticos do pólo moveleiro da serra gaúcha. **Sistemas e Gestão,** Caxias do Sul, n. 8, p.34-43. 2013.

KNOP, Krzysztof; MIELCZAREK, Krzysztof. The improvement on the basis of PDCA and SDCA cycles. **Quality. Production. Improvement.** Polônia, p. 60-71. 2015.

LIMBERGER, Rodrigo Prestes. **Sistema de resfriamento de mosto de cerveja em processos artesanais.** 2013. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MARIANI, Carlos Antônio. Método pdca e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **Revista de Administração e Inovação,** São Paulo, v. 2, n. 2, p.110-126. 2005.

MARTINS, Fernando Luiz. **Eficiência energética: gestão metodológica para a redução de energia elétrica na indústria.** 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MASSARONI, Iracema Fernandes; SCAVARDA, Annibal José Roris Rodriguez. Gestão de Serviços em Bibliotecas Públicas: aplicação do 5W2H na política de aquisição de acervo. **Incid: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 1, p.4-16. 2015.

MEGA, Jéssica Francielli; NEVES, Etney; ANDRADE, Cristiano José de. A produção de cerveja no Brasil. **Revista Citino**, Mato Grosso, v. 1, n. 1, p.34-42, dez. 2011

MENDES, Jair Eduardo Alves. **Eficiência energética aplicada na indústria de bebidas em sistemas de refrigeração e ar comprimido – estudo de casos.** 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

MOSKO, Juliano Marcos; PILATTI, Luiz Alberto; PEDROSO, Bruno. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA: ELABORAÇÃO E PLANEJAMENTO DE PROGRAMAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.17-23, abr. 2010.

ORTIZ, Paulo Rodolfo Buffon. **Análise do consumo de energético do processo de produção de cerveja artesanal por bateladas.** 2014. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PARK, Cheol-woo et al. Energy Consumption Reduction Technology in Manufacturing – A Selective Review of Policies, Standards, and Research. **International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing**. Korea do Sul, p. 151-173. dez. 2009.

PRASHAR, Anupama. Adopting PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle for energy optimization in energy-intensive SMEs. **Journal Of Cleaner Production**. Índia, p. 277-293. 2017.

SILVA, Adriana Ribeiro da. **Viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás gerado em estação de tratamento de efluente industrial de cervejarias.** 2014. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia e Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 2014.

SOKOVIC, Mirko; PAVLETIC, Dusko; PIPAN, Karmem Kern. Quality improvement methodologies - PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. **Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering**. Slovênia, p. 476-483. nov. 2010.

TASSINI, Jussara Oliveira. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial: estudo de caso.** 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

TONIM, Gilberto. **A gestão de energia elétrica na indústria - seu suprimento e uso eficiente**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

AGRADECIMENTOS

Profundo agradecimento a todos que fizeram parte da minha graduação. Em especial:

A Universidade Federal de Santa Catarina por me proporcionar aprendizados incríveis e por contribuir não apenas com minha formação acadêmica, mas com minha formação pessoal.

A minha família que me deu suporte para alcançar meus objetivos e esteve sempre ao meu lado. Gostaria de agradecer em especial minha mãe, Dona Maria Alzeni, uma mulher extraordinária que soube ensinar aos filhos os mais nobres princípios, mesmo com todas as dificuldades.

A minha namorada Letícia pelo apoio nos momentos difíceis e compartilhar todas as alegrias e conquistas. Os melhores momentos são com você do meu lado.

A todos os amigos que fizeram e continuarão fazendo parte dessa história.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luciano Pfitscher por todo conhecimento e atenção disponibilizados.

A Ambev Cervejaria Santa Catarina por todo conhecimento proporcionado ao longo do estágio e por permitir a utilização das informações na realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

“O risco é uma parte importante da vida, aprenda a tomar riscos. Quem não toma riscos faz nada.”

Jorge Paulo Lemann (2014).