

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Maicon Fernandes Pereira

**Eficiência Energética: estudo de caso para economia de energia elétrica em uma
empresa do ramo cervejeiro**

Araranguá

2022

Maicon Fernandes Pereira

Eficiência Energética: estudo de caso para economia de energia elétrica em uma empresa do ramo cervejeiro

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.
Orientador: Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher.

Araranguá
2022

Maicon Fernandes Pereira

Eficiência Energética: estudo de caso para economia de energia elétrica em uma empresa do ramo cervejeiro

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Leonardo Elizeire Bremermann
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Katia Cilene Rodrigues Madruga
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher
Coordenador do Curso

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher
Orientador

Maicon Fernandes Pereira
Autor

Araranguá, 21 de julho de 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira, Maicon Eficiência Energética : estudo de caso para economia de energia elétrica em uma empresa do ramo cervejeiro / Maicon Pereira ; orientador, Luciano Pfitscher , 2022.

30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Eficiência Energética. 3. Cervejaria. 4. Equipamentos. 5. Iluminação. I. Pfitscher , Luciano. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. III. Título.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO PARA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA EMPRESA DO RAMO CERVEJEIRO

Maicon Fernandes Pereira

Resumo

A eficiência energética possui um papel fundamental nas indústrias, sendo responsável por reduzir custos de produção, emissões de gases estufa e impactos referentes a possíveis variações do preço da energia, aumentando a competitividade no mercado. No sul de Santa Catarina foi realizado um estudo de caso em uma cervejaria, para analisar sua eficiência energética, por tratar-se de um setor com potencial para redução no seu consumo. Foram coletados dados dos equipamentos e da iluminação dos setores de maior relevância, sendo observados pontos de consumo que foram melhorados e outros que ainda precisam de análise, pois possuem um potencial promissor para a redução do consumo energético. A fatura da energia elétrica teve como foco a observação dos seguintes fatores: demanda contratada, energia especial em horários de pico e fator de potência. Tais coeficientes influenciam diretamente na conta de energia da empresa, vez que o mau dimensionamento deles gera multas. Por fim foi abordada a conscientização dos colaboradores através de campanhas que não geram custos e são eficazes para evitar desperdícios que facilmente poderiam ser evitados. A indústria apresentou-se eficiente em alguns aspectos e em outros há a necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado, dependente do *payback*.

Palavras-chaves: Eficiência Energética. Cervejaria. Equipamentos. Iluminação.

Abstract

Energy efficiency plays a key role in industries, being responsible for reducing production costs, greenhouse gas emissions and impacts related to possible variations in energy prices, increasing competitiveness in the market. In the south of Santa Catarina, a case study was carried out in a brewery to analyze its energy efficiency, since it is a sector with potential for reduction in consumption. Data was collected from the equipment and lighting of the most relevant sectors, observing consumption points that were improved and others that still need analysis, since they have a promising potential for energy consumption reduction. The electric energy bill focused on the observation of the following factors: contracted demand, special energy at peak hours, and power factor. Such coefficients directly influence the company's energy bill, since their poor dimensioning generates fines. Finally, we approached the awareness of employees through campaigns that do not generate costs and are effective in avoiding waste that could easily be avoided. The industry was efficient in some aspects and in others there is the need to conduct a more in-depth study, depending on the payback.

Keywords: Energy Efficiency. Brewery. Equipment. Lighting.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Todas as atividades humanas demandam energia, seja na forma de fluxos diretos, como o calor e eletricidade, ou de fluxos indiretos, como os bens e serviços, que estão diretamente relacionadas aos fluxos físicos, que são usados para atender as demandas energéticas de materiais e de outras atividades, denominadas como o dispêndio energético de bens e serviços. Essa estratégia visa avaliar com mais precisão a importância da energia na sociedade e demonstrar a crescente demanda por energia indireta, que está ligada a bens que consomem energia durante a produção. (VIANA, 2021)

Ao longo dos anos observou-se que a energia elétrica foi uma das bases do crescimento das indústrias em todo o mundo. Como consequência, o desenvolvimento dessas indústrias gerou uma alta demanda energética. O modelo adotado inicialmente foi de aumentar a oferta de energia para que o crescimento pudesse continuar, e, seguindo a lógica de maior consumo, os gastos das empresas com energia elétrica subiram.

Com o passar do tempo, os hábitos de consumos e os equipamentos começaram a ser estudados e aprimorados, visando produzir em igual ou maior escala, mas reduzindo gastos energéticos. Alguns desses estudos mostravam-se economicamente viáveis, pois o investimento seria compensado com a redução de gastos com o consumo de energia elétrica. Assim, a eficiência energética apresenta-se como um dos fatores que faz com que a indústria seja mais competitiva no mercado, pois reduz os custos de produção. Por conseguinte, além da redução dos custos de produção, a eficiência energética vai ao encontro de questões de sustentabilidade, seguindo a tendência mundial de implementação de sistemas de gestão de energia que reduzam o consumo de recursos naturais, diminuindo o impacto ambiental e contribuindo para a proteção climática.

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a tendência da atividade de cervejarias no Brasil tem aumentado significativamente nos últimos anos. Em 2019, foram registradas 320 novas empresas do ramo, tornando-se o ano com mais registros nos últimos 20 anos e elevando o número total de cervejarias do país para 1209. A relação entre a expansão da produção de cerveja artesanal e a busca por cervejas especiais revela uma mudança nos hábitos do consumidor brasileiro, que está se tornando cada vez mais sofisticada.

Um mercado crescente para a produção de cerveja exige inovação tecnológica e científica em equipamentos e procedimentos para apoiar as muitas e essenciais etapas do processo de fabricação de cerveja. No entanto, apesar do cenário atual de crescimento das cervejarias artesanais de pequeno porte no Brasil, ainda há demanda por avanço tecnológico de alta qualidade para atender às necessidades fabris do país. Para isso, é necessário avançar no desenvolvimento da tecnologia cervejeira com foco na produção de equipamentos eficazes para promover a expansão do mercado nesta área. Além disso, é importante que o crescimento do segmento cervejeiro e a produção desses novos equipamentos esteja de acordo com fatores que favoreçam a economia de energia.

1.1 Objetivos

Considerando o cenário exposto, nesta seção serão abordados os objetivos do trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os consumos de energia elétrica de uma empresa do ramo cervejeiro para buscar alternativas de custo-benefício e possibilitar a redução do consumo de recursos e o valor das despesas mensais com energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar os parâmetros elétricos dos equipamentos da indústria (tensão, corrente, potência, rendimento e fator de potência).

Classificar os dados em grupos por tipo de consumo.

Comparar os dados de consumo para verificar quais equipamentos são mais promissores para melhorar a eficiência energética da empresa.

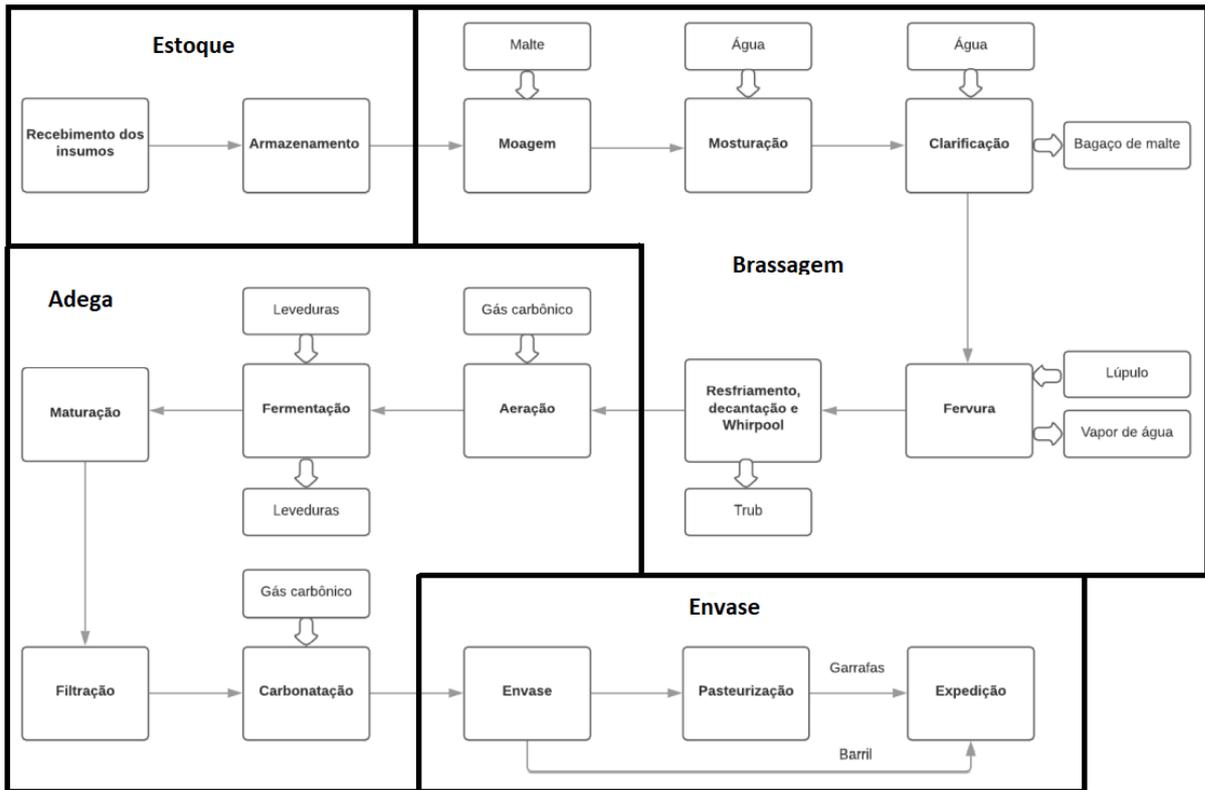
2 REFERENCIAL TEÓRICO

As considerações pertinentes a este trabalho, que estão disponíveis na literatura, serão apresentadas neste capítulo. Os processos e fatores de energia elétrica serão descritos na sequência.

2.1 Processo de fabricação de cerveja

Existem diversas variedades e classificações de cerveja. A classificação pode estar relacionada ao tipo de processo de fabricação utilizado. No entanto, pode-se dizer que a maioria das cervejas passa pelas mesmas etapas de produção, e o que diferencia os vários estilos de bebida é o uso de diferentes matérias-primas (água, malte, lúpulo e leveduras), bem como o tempo que a bebida leva para fermentar, maturar e outros processos (BALDO, 2014). Na Figura 1, é ilustrado o fluxograma do processo geral de produção de cerveja.

Figura 1: Fluxograma da produção de cerveja



Fonte: Delcor,2019.

2.1.1 Brassagem

Esta etapa visa converter o amido e as proteínas do malte em uma solução de açúcares. Existem várias fases importantes para o processo de brassagem, dentre elas: moagem, mostura, filtragem, fervura, separação do trub e resfriamento.

A moagem baseia-se na divisão dos grãos para expor o amido contido neles. Este procedimento deve ser realizado com cuidado, pois as cascas dos grãos serão utilizadas como filtro de material durante a etapa de filtragem. (KUNZE, 2004). O moinho é o equipamento com maior consumo elétrico nessa etapa.

Na mostura os grãos maltados são adicionados à água para hidratá-los e ativar as enzimas necessárias para a conversão do amido presente nos grãos em açúcares fermentáveis conforme a temperatura do líquido varia (mosto) (OLIVEIRA, 2015). Nessa etapa o maior consumidor de energia elétrica é a bomba que agita o líquido com os grãos.

O objetivo do processo de filtragem é separar o mosto do bagaço de malte. Com este procedimento obtém-se um mosto "limpo", reduz-se a absorção de oxigênio e também se

alcança uma alta taxa de recuperação do extrato dos grãos. (BOAN, 2012). A bomba que faz o líquido circular para a filtragem é o equipamento que mais utiliza energia elétrica nessa fase.

A fervura é a etapa onde o mosto é, normalmente, fervido por 50 a 60 minutos. O lúpulo é adicionado durante esse processo, liberando seu sabor, aroma e características olfativas. Ao evaporar a água, a fervura concentra o mosto ao mesmo tempo em que o esteriliza, desativa enzimas, e remove substâncias que exalam odores desagradáveis (off-flavours) (KUNZE, 2004). A caldeira é o elemento principal desta etapa e é também a que mais usa energia elétrica com as bombas de seu funcionamento.

A substância conhecida como trub é composta por uma massa de partículas insolúveis que se formam a partir da coagulação de proteínas e lúpulo. A retirada do trub é fundamental, pois pode interferir na ação das enzimas durante todo o processo de fermentação, e na estabilidade físico-química e sensorial da cerveja. (JORGE, 2004). A bomba que realiza esse processo é o equipamento de maior gasto elétrico nessa etapa da brassagem.

O resfriamento é necessário para evitar prejudicar a fase de fermentação subsequente. O processo de refrigeração deve ser realizado o mais rápido possível para reduzir o risco de contaminação e a formação de odores indesejáveis. Para realizar esse processo normalmente são utilizados trocadores de calor do tipo placa (MORADO, 2009). O sistema de refrigeração, no caso, os chillers são os equipamentos que mais exigem energia elétrica nessa fase e são também os maiores consumidores de toda a empresa.

2.1.2 Fermentação

O processo de fermentação envolve a passagem dos açúcares contidos no mosto em dióxido de carbono (CO_2) e etanol (C_2H_6O). É fundamental gerir o processo de fermentação controlando a temperatura, a duração da fermentação, o tipo de levedura utilizada e, conseqüentemente, a quantidade de levedura utilizada. Este processo tem potencial para produzir subprodutos do metabolismo da levedura que são prejudiciais à bebida (MORADO, 2009). Assim como no resfriamento, os chillers são os principais equipamentos neste processo.

2.1.3 Maturação

A retirada das leveduras do tanque de fermentação marca o início da maturação. O método é responsável pelo "afinamento" da bebida. Após a maturação estar completa, o

líquido pode ser filtrado para dar à cerveja uma aparência "brilhante" (BALDO, 2014). Nessa etapa não há utilização de equipamentos elétricos.

2.1.4 Envase

A etapa final no processo de fabricação da cerveja é o processo de envase. Esta etapa também envolve a sanitização das embalagens de modo térmico ou úmido (garrafas de vidro, barris e latas de alumínio), utilizando produtos específicos, e evitando qualquer tipo de contaminação. É então realizado o enchimento, fechamento, pasteurização, rotulagem, encaixotamento e comercialização do produto (OLIVEIRA, 2015). Este setor, possui a enchedora de garrafas, pasteurizador e a rotuladora como as principais máquinas.

Cada etapa do processo de produção da cerveja demanda tempo e condições específicas, dentre elas o abastecimento de energia elétrica em quantidade e regulação suficientes para um resultado satisfatório ao final de cada fase, sem o qual não é possível obter uma bebida de qualidade na conclusão do processo.

2.2 Eficiência energética na fabricação da cerveja

Nesta seção será abordado a perspectiva sobre a eficiência energética na fabricação da cerveja por outros autores, o foco principal será em outros trabalhos que realizaram esse tipo de análise.

Corrêa (2017), apresentou um estudo de caso sobre a utilização do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*) como ferramenta de gestão de energia elétrica em uma cervejaria. O trabalho mostrou que o método de gestão utilizado foi efetivo para alcançar os resultados estabelecidos como meta. Esse tipo de análise tem impacto direto neste trabalho pois com eles é possível identificar se os índices estabelecidos para redução do consumo de energia elétrica estão sendo eficientes. Com isso, foi possível incorporar os conceitos desse trabalho na análise de consumo elétrico dos equipamentos.

Lacerda (2020) efetuou uma análise de forma criteriosa sobre os riscos que o segmento cervejeiro pode apresentar durante o processo de fabricação e os efeitos que um produto fora de especificação pode trazer ao consumidor final. Dessa forma, fez uma análise de risco para um projeto típico de cervejaria artesanal. Os resultados foram expressivos, já que observou um potencial aumento da viabilidade econômica e uma maior facilidade de implementação dentro

do contexto analisado de forma a agregar valor para o ramo cervejeiro em cerca de 63% das recomendações/sugestões propostas.

Apesar do foco de pesquisa no presente trabalho ser na análise de equipamentos e fatura elétrica, foram utilizadas as técnicas empregadas nesse trabalho no projeto de conscientização, seção 4.4.

2.3 Fatores da fatura de energia elétrica.

A fatura de energia elétrica do grupo de consumidores industriais possui algumas variáveis controladas pela empresa. Com planejamento é possível economizar na conta de energia. Dentre as possibilidades temos a demanda contratada, fator de potência e energia especial em alguns casos.

A demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. A demanda contratada é a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). (COPEL, 2005).

Para estimular o consumo em alguns horários do dia e desencorajar o consumo excessivo em outros, foi criada uma diferenciação nos valores cobrados ao consumidor. Os horários são divididos em ponta e fora de ponta. Horário de ponta: o período que dura três horas, que devem ser consecutivas e previamente definidas pela distribuidora de energia elétrica. Para sua definição, deve ser utilizada a curva de carga da região ou do sistema elétrico utilizado. A definição do horário de ponta deve ser aprovada pela ANEEL. Horário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta (RICARTE,2020).

A Energia especial é uma quantidade de kWh que a empresa pode comprar antecipadamente e utilizar no horário de ponta, período em que a energia tem tarifa maior. Sendo assim, por ser comprada na média de 15 dias antes da fatura, a cooperativa de energia pratica um valor menor do kWh. Dessa forma, com o planejamento da compra da energia especial, tem-se um impacto significativo no valor que a indústria paga pela energia elétrica.

O fator de potência (FP) é um parâmetro que merece uma atenção especial. Isso porque, alguns aparelhos elétricos, como os motores, em um determinado período, além de consumirem energia ativa solicitam também energia reativa necessária para criar o fluxo magnético que o seu funcionamento exige, determinando-se o fator de potência (FP) num determinado período. Quando o fator de potência é baixo, surge uma série de inconvenientes elétricos para a indústria e para a concessionária (COPEL, 2005), como a necessidade de maior capacidade de condutores, aumento de perdas e multas financeiras.

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no setor de produção de uma cervejaria fundada no ano de 2007, no sul de Santa Catarina. A fabricação de chopes e cervejas artesanais teve início no ano de 2008 e atualmente a empresa conta com capacidade para produzir até 500 mil litros de bebida nos meses de alta demanda. Além disso, tem capacidade de armazenamento de até 380 mil litros em adega.

O setor de brassagem conta com tinas de 2500 litros, possuindo uma tina de mostura, uma tina de clarificação, duas tinas de fervura e uma tina de whirlpool. A função da segunda tina de fervura é de aumentar produção. Essa planta possui uma média de 100 colaboradores.

3.1 Setores

Nesta seção serão apresentados dados comparativos dos consumos de energia elétrica dos equipamentos de cada setor da empresa, indicando quais máquinas podem contribuir de forma relevante para a eficiência da planta em estudo. Método utilizado para coletar as informações, foram a descrição de placa contida nos equipamentos e a medição com o uso do multímetro.

3.1.1 Sala de máquinas 1

É o local em que se encontra a maior quantidade de equipamentos de alto consumo e tempo de permanência em uso. É onde ficam o sistema de refrigeração e o sistema de geração de vapor. Na Tabela 1, mostram-se os equipamentos que consomem mais energia elétrica. Este modelo de tabela será usado para demonstração de dados de todos os setores da empresa. Nela podem analisar-se os valores de tensão, corrente, potência, rendimento e FP (Fator de Potência).

Tabela 1: Planilha de equipamento sala de máquinas 1

| Sala de Máquina 1 | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Chiller Superior | 380 | 52,00 | 34,23 | - | - |
| Chiller Inferior | 380 | 52,00 | 34,23 | - | - |
| Chiller Brasagem | 380 | 50,50 | 33,24 | - | - |
| Bomba Recirculação de água quente | 380 | 3,27 | 2,15 | 0,81 | 0,86 |
| Bomba da Caldeira | 380 | 4,52 | 2,97 | 0,85 | 0,87 |
| Bomba da água Tratada | 380 | 7,39 | 4,86 | 0,88 | 0,87 |
| Bomba de Resfriamento Brasagem | 380 | 3,16 | 2,08 | 0,83 | 0,85 |
| Bomba Linha de 5.000 Etanol | 380 | 3,21 | 2,11 | 0,83 | 0,85 |
| Bomba Linha de 10.000 Etanol | 380 | 4,98 | 3,28 | 0,85 | 0,87 |
| Bomba Linha de 20.000 Etanol | 380 | 10,90 | 7,17 | 0,88 | 0,87 |

Fonte: Autor (2022).

As bombas desse setor apresentam retorno custo-benefício, levando em consideração que são equipamentos que possuem média de uso de 15 anos. Nesse setor, a média do rendimento das bombas fica em 0,85 e o FP de 0,86. Isso indica que os chillers são os maiores consumidores dessa área, e as melhorias terão maior impacto nas reduções de gastos da indústria cervejeira nesses equipamentos.

3.1.2 Sala de máquinas 2

Este setor possui apenas três equipamentos, conforme Tabela 2. A torre de resfriamento faz parte do pasteurizador, pois é necessário a troca de calor da primeira e da última zona de pasteurização do mesmo. Com a torre, a água perde calor para o ambiente, para não ocorrer o choque térmico e para que as garrafas não saiam quentes do mesmo. A Ilha 20/5 faz parte da enchedora de garrafas sendo responsável por alguns processos da mesma. O compressor é necessário em todo processo para a fabricação das bebidas.

Tabela 2: Planilha de equipamento sala de máquinas 2

| Sala de Máquina 2 | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Compressor de ar comprimido | 380 | 17,00 | 11,19 | - | - |
| Torre de Resfriamento | 380 | 6,50 | 4,28 | - | - |
| Ilha 20/5 | 380 | 15,00 | 9,87 | - | - |

Fonte: Autor (2022).

3.1.3 Brassagem

O setor da brassagem é o local em que ocorrem as primeiras etapas de fabricação da cerveja. Na Tabela 3 explanam-se os dados dos equipamentos:

Tabela 3: Planilha de equipamento Brassagem.

| Brassagem | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Bomba Transferência Painela 1 | 380 | 1,68 | 1,11 | 0,77 | 0,85 |
| Bomba Transferência. Painela 2 | 380 | 1,68 | 1,11 | 0,77 | 0,85 |
| Bomba Transferência. Painela 3 | 380 | 1,68 | 1,11 | 0,83 | 0,77 |
| Bomba Transferência. Painela 4 | 380 | 1,68 | 1,11 | 0,78 | 0,79 |
| Bomba Transferência. BW | 380 | 4,74 | 3,12 | 0,80 | 0,84 |
| Redutor Painela 1 | 380 | 4,00 | 2,63 | 0,84 | 0,85 |
| Redutor Painela 2 | 380 | 4,00 | 2,63 | 0,85 | 0,85 |
| Câmara Fria Brassagem | 220 | 20,00 | 7,62 | - | - |
| Bomba de CIP 1 | 380 | 3,00 | 1,97 | 0,82 | 0,85 |
| Bomba de CIP 2 | 380 | 3,00 | 1,97 | 0,82 | 0,77 |
| Bomba Cervejeira | 380 | 7,40 | 4,87 | 0,75 | 0,76 |
| Filtro | 380 | 6,00 | 3,95 | - | - |
| Hop Storm | 380 | 4,74 | 3,12 | - | - |
| Centrífuga | 380 | 12,00 | 7,90 | - | - |
| Moinho 1 | 380 | 14,00 | 9,21 | - | - |

Fonte: Autor (2022).

Na brassagem o aparato de maior consumo de eletricidade é a centrífuga, apresentada na Figura 2. Este equipamento é responsável por remover o fermento da cerveja, trabalhando com velocidade nominal do tambor a 12000 RPM.

Figura 2: Centrífuga



Fonte: Autor (2022).

A bomba cervejeira é o segundo maior consumidor de energia elétrica do setor. Sua função é pressurizar a linha para a máquina de envasamento de garrafas e a automação controla a pressão da linha com a velocidade variável da bomba.

O operador da máquina de envase tem acesso a um controlador de pressão, em que ele ajusta o offset na IHM (interface homem máquina). O controlador recebe a informação da pressão da linha por um sensor de pressão, que envia a informação para o inversor de frequência, equipamento responsável pelo controle e proteção da bomba. Conforme a pressão ajustada no controlador pelo colaborador do envase de garrafas, é função do inversor de frequência regular a velocidade de rotação da bomba e conseqüentemente a pressão na linha.

O equipamento moinho possui inversores de frequência, que possibilita o operador utilizá-lo conforme o estilo de malte a ser moído, aumentando a eficiência, pois é regulado conforme a dureza dos grãos.

3.1.4 Envase

O setor de envase, é o local do envasamento de cerveja. Na Tabela 4 é possível observar os dados coletados:

Tabela 4: Dados de envasamento

| Envase | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Enchedora 20/5 | 380 | 20,00 | 13,16 | - | - |
| Esteiras (5X) | 380 | 6,00 | 3,95 | 0,73 | 0,69 |
| Pasteurizador | 380 | 28,00 | 18,43 | - | - |
| Rotuladora | 380 | 10,00 | 6,58 | - | - |
| Elevador de Paletes | 380 | 4,00 | 2,63 | - | - |
| Lavadora de Barril 1 - 1 Bico | 380 | 8,80 | 5,79 | - | - |
| Lavadora de Barril 2 - 2 Bicos | 380 | 15,00 | 9,87 | - | - |

Fonte: Autor (2022).

É possível constatar que o pasteurizador (Figura 3) é o maior consumidor de energia elétrica desse setor. Esse equipamento possui 6 bombas de 4 CV para pulverizar as garrafas envasadas com um jato de água quente, calor esse fornecido pela caldeira. As bombas, por sua vez, têm rendimento de 0,875 e o seguinte FP de 0,84. A enchedora 20/5 é um equipamento projetado para o envase de garrafas e, sendo uma máquina nova e moderna, dispensa mudanças.

Figura 3: Pasteurizador



Fonte: Autor (2022).

3.1.5 Estação de tratamento de efluentes

Conforme tabela 5 é possível observar que a estação de tratamentos de efluentes da cervejaria possui vários equipamentos elétricos. Esses dispositivos são, em sua maioria, de baixo consumo de energia elétrica, exceto a decanter (Figura 4) que tem o maior consumo. A função da decanter é separar os resíduos sólidos e líquidos para o correto descarte.

Tabela 5: Planilha de equipamento ETE

| Estação de tratamento de efluentes | | | | | |
|---|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Decanter | 380 | 18,00 | 11,85 | - | - |
| Torre Chiller Sup. | 380 | 4,00 | 2,63 | - | - |
| Torre Chiller Inf. | 380 | 4,00 | 2,63 | - | - |
| Torre Chiller Bras. | 380 | 4,00 | 2,63 | - | - |
| Aerador das Caixa 1 | 380 | 2,23 | 1,47 | 0,72 | 0,70 |
| Aerador das Caixa 2 | 380 | 2,23 | 1,47 | 0,77 | 0,71 |
| Motor agitação polímero | 380 | 1,51 | 0,99 | 0,76 | 0,71 |
| Bomba Transferência 1 – 2 | 380 | 3,21 | 2,11 | 0,83 | 0,85 |
| Bomba Transferência 2 – 3 | 380 | 2,00 | 1,32 | 0,77 | 0,85 |

Fonte: Autor (2022).

Figura 4: Decanter.



Fonte: Autor (2022).

3.1.6 Expedição

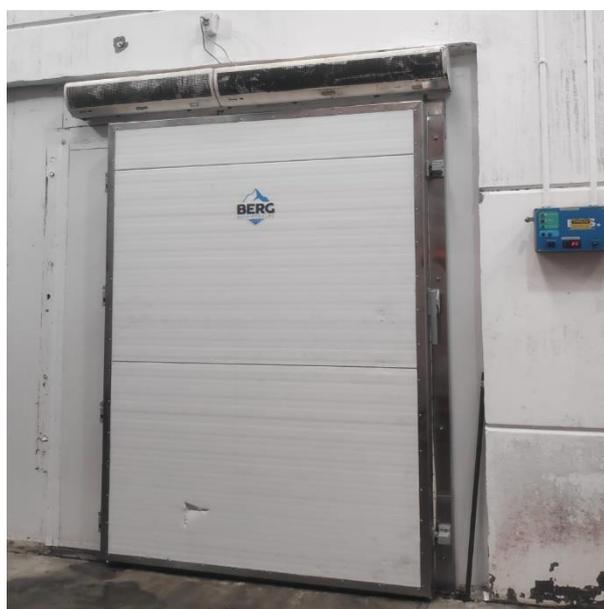
O setor de expedição tem como objetivo armazenar os produtos prontos para a comercialização e seus equipamentos são responsáveis pela conservação das bebidas. Os dados podem ser observados na Tabela 6. Há necessidade de armazenamento em condições de resfriamento, utilizando, para esse fim, as câmaras frias, conforme Figura 5. São utilizadas cortinas de ar sob as portas das câmaras frias para impedir que o ar gelado saia, quando da entrada ou saída de produto, o que faz com que o sistema de refrigeração não seja utilizado desnecessariamente.

Tabela 6: Planilha de equipamento Expedição.

| Expedição | | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Equipamento | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência (kW) | Rendimento | FP |
| Câmara Fria Exp. 1 | 380 | 32,00 | 21,06 | - | - |
| Câmara Fria Exp. 2 | 380 | 32,00 | 21,06 | - | - |

Fonte: Autor (2022).

Figura 5: Câmara fria 1 Expedição.



Fonte: Autor (2022).

3.2 Iluminação

A empresa está substituindo sua iluminação por lâmpadas LED, que geralmente consomem uma menor potência pela iluminação fornecida. O estabelecimento possui várias telhas translúcidas que aproveitam a luz do dia para iluminar o ambiente interno e assim diminuir a necessidade de ligar algumas ou todas as lâmpadas dos setores em questão. A mudança do layout dessas telhas permite uma melhor eficiência da luz natural. Por meio do uso intercalado de telhas translúcidas e convencionais haverá mais incidência de luminosidade, sendo necessário uma menor quantidade de iluminação artificial. Na tabela 7 estão os dados coletados de iluminação de todos os setores da indústria.

Tabela 7: Dados de iluminação de todos os setores.

| ILUMINAÇÃO | | | | |
|--|----------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Equipamento | Quantidade | Potência (kW) indiv. | Potência (kW) Total |
| Iluminação sala de máquina 1 | Lâmpada Led Tubular | 10,00 | 0,018 | 0,18 |
| Iluminação sala de máquina 2 | Lâmpada Led bulbo | 1,00 | 0,015 | 0,015 |
| Iluminação brasagem | Lâmpada Led bulbo | 14,00 | 0,05 | 0,70 |
| | Refletor de Led | 4,00 | 0,05 | 0,20 |
| Iluminação envase | Lâmpada Led bulbo | 12,00 | 0,05 | 0,60 |
| | Refletor de Led | 2,00 | 0,05 | 0,10 |
| Iluminação estação de tratamento de efluentes | Lâmpada Led bulbo | 4,00 | 0,05 | 0,20 |
| Iluminação expedição | Lâmpada Led bulbo | 15,00 | 0,05 | 0,75 |
| | Lâmpada Fluorescente | 5,00 | 0,02 | 0,10 |
| Iluminação almoxarifado | Lâmpada Led bulbo | 19,00 | 0,05 | 0,95 |
| | Refletor de Led | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: Autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas todas as ações que foram identificadas para a redução de custos e melhor eficiência dos sistemas da indústria.

4.1 Sistema de resfriamento

O chiller da brassagem tem a função de resfriar o produto antes da entrada no tanque de armazenamento. Os outros dois chillers, Figura 6, têm como função manter as temperaturas baixas, conforme a necessidade do produto que está armazenado nos tanques de maturação.

O sistema de resfriamento apresenta o maior consumo de energia elétrica. Ele é composto por três chillers com dois compressores cada, que são os responsáveis pelo resfriamento dos processos para produção de cervejas e chopes. As temperaturas de trabalho

variam entre (-5 a -3)°C. São equipamentos que nunca são desligados a não ser para manutenções, mas ao chegar na temperatura desejada os compressores param e ligam assim que a solução subir para -3°C.

Para esses equipamentos sugere-se a instalação de um controlador que tem a possibilidade de agendar o desligamento e o religamento do equipamento. Como o chiller, não pode ficar desligado, pois se a temperatura do fluido refrigerante subir, pode afetar na qualidade do produto, a solução é desligar no horário de pico um chiller, já que é o horário com o valor mais caro do kWh.

A empresa responsável pelo abastecimento elétrico na região, onde está instalada a cervejaria pratica os seguintes valores fora de ponta R\$ 0,17 kWh e o horário de ponta que é das 18:00 às 21:00 o valor é de R\$ 1,39 kWh ou energia especial por 0,61 kWh (valores em 2022).

Figura 6: Chiller superior da sala de máquina 1.



Fonte: Autor (2022).

4.2 Compressor de ar comprimido

A rede de ar comprimido contava com um compressor, cuja potência era de 15 CV, com pressão de trabalho entre 7 a 8,5 bar. Se fez necessário implementar outro modelo, Figura 7, que conta com uma potência de 40 CV e a pressão de trabalho entre 7 a 8,5 bar, também contando com um inversor de frequência que se ajusta ao consumo fabril. A justificativa da mudança é que o compressor antigo atuava em demanda máxima, com isso o mesmo

apresentava vários períodos sem entrar em alívio, momento que alcança o valor programado de geração de ar comprimido, entrando em *stand-by*, até chegar no valor programado de mínimo para ser acionado novamente.

O controle do inversor de potência se ajusta conforme a necessidade da produção, variando a potência de trabalho entre 30% a 50% de sua capacidade. Essa melhoria proporciona um aumento de consumo de ar comprimido caso necessário.

A mudança de um compressor que trabalhava sempre em sua potência máxima, por um compressor de ar comprimido aumentou significativamente a eficiência energética do sistema.

Os compressores com inversor de frequência se ajustam eletronicamente à velocidade do motor e consomem apenas a energia necessária para produzir o ar requerido pela rede. Esta tecnologia reduz em até 30% o consumo de energia (ARPRESSI, 2022).

Figura 7: Compressor Schulz 40 Cv com inversor (Novo).



Fonte: Autor (2022).

4.3 Fatura de Energia

O banco de capacitores, Figura 8, da empresa possui capacidade de 100 kVAr. A eficiência energética do dispositivo é alta, já que está instalado com um dispositivo eletrônico responsável pela análise das potências de energia reativa e capacitivas empregadas no sistema, acionando os capacitores automaticamente quando necessário. O fator de potência lido pela

empresa responsável, mostrou que esse parâmetro se mantém acima dos 97%, sendo assim, não é aplicado nenhuma penalidade à indústria, devido ao fato de estar dentro da eficiência exigida.

Figura 8: Banco de capacitores.



Fonte: Autor (2022).

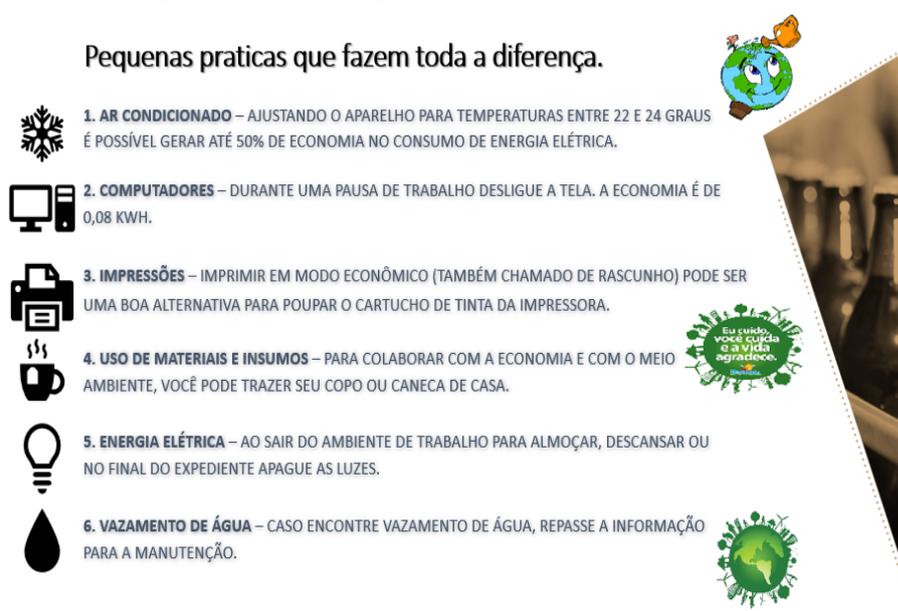
Um colaborador é responsável pelo controle de demanda solicitando um relatório mensal para acompanhar o comportamento do parâmetro, tendo em vista que a demanda pode ser aumentada quantas vezes forem necessárias e que a diminuição da demanda só é permitida uma vez a cada 12 meses. Para esta demanda é estabelecido uma margem de 5% de tolerância. Em casos que os parâmetros ultrapassam a faixa de segurança é cobrado o dobro do valor pela concessionária de energia.

Considerando os picos de consumo energético, condizentes com os maiores valores de kWh, se faz necessário a disponibilização de compra de energia especial, que é fornecida por uma concessionária de energia elétrica com valor de energia nominal próximo à metade do valor convencional. Se o valor contratado não for suficiente, o restante de energia fornecido terá seu valor atualizado para o preço padrão, mais uma multa agregada. Em outro cenário, quando a compra for maior que o consumo, é pago o valor comprado mesmo sem utilizar a quantidade total comprada e não há o acúmulo para o mês posterior; os kWhs são utilizados no horário das 18:00 as 21:00 horário de ponta.

4.4 Campanha de Conscientização

Implementou-se na cervejaria uma campanha de conscientização do uso de energia e demais recursos na forma de informativo, representado na Figura 9. Para uma melhor abrangência, foram fixadas nos murais da empresa e enviadas para os e-mails dos colaboradores as informações, sobre os pequenos gestos que eles poderiam realizar para utilizar da melhor forma os recursos que a empresa disponibiliza, contribuindo para uma redução nos gastos e ajudando a preservar o meio ambiente, com a diminuição do uso de recursos. A conscientização é uma aliada muito importante para eficiência de qualquer empresa, pois sem ela, mesmo os equipamentos de alta eficiência energética pode ser comprometida.

Figura 9: Informativo para conscientização dos colaboradores



Fonte: Autor (2022).

O tema da campanha foi “Pequenas práticas que fazem toda a diferença”, no intuito de conscientizar os colaboradores e informar sobre as maneiras de reduzir o consumo da empresa, ajudando na preservação do meio ambiente. Alguns dos pontos abordados foram: utilizar o ar condicionado em temperaturas amenas, não utilizando o mesmo no máximo de capacidade de resfriamento; desligar as telas dos computadores quando não estiverem em uso; modo econômico das impressoras; utilização de copos reutilizáveis ao invés dos descartáveis; uso consciente da iluminação; e a verificação de vazamentos.

4.5 Análise e Classificação por consumo

O estudo foi executado de forma prática, realizado através da coleta de dados dos equipamentos da cervejaria, comparando as máquinas para sugerir melhorias significativas, diferenciando do Corrêa (2017), que aplicou em seu estudo métodos de gestão e planejamento com ferramentas desse segmento. Percebe-se que as duas técnicas se complementam, podendo apresentar melhores análises em relação ao uso individual de cada uma.

A sala de máquina 1 é o local de maior consumo de energia elétrica, considerando a potência dos equipamentos que se encontram nela, com 37%, de potência total instalada de 126,32 kW. Os equipamentos que mais contribuem para esse setor ter essa demanda de energia são os equipamentos de refrigeração, que possuem um papel fundamental para a produção das cervejas e chopes.

É realizado uma programação de desligamento do chiller no horário de pico para auxiliar na redução de gastos com energia elétrica, pois é o horário de maior valor do kW.

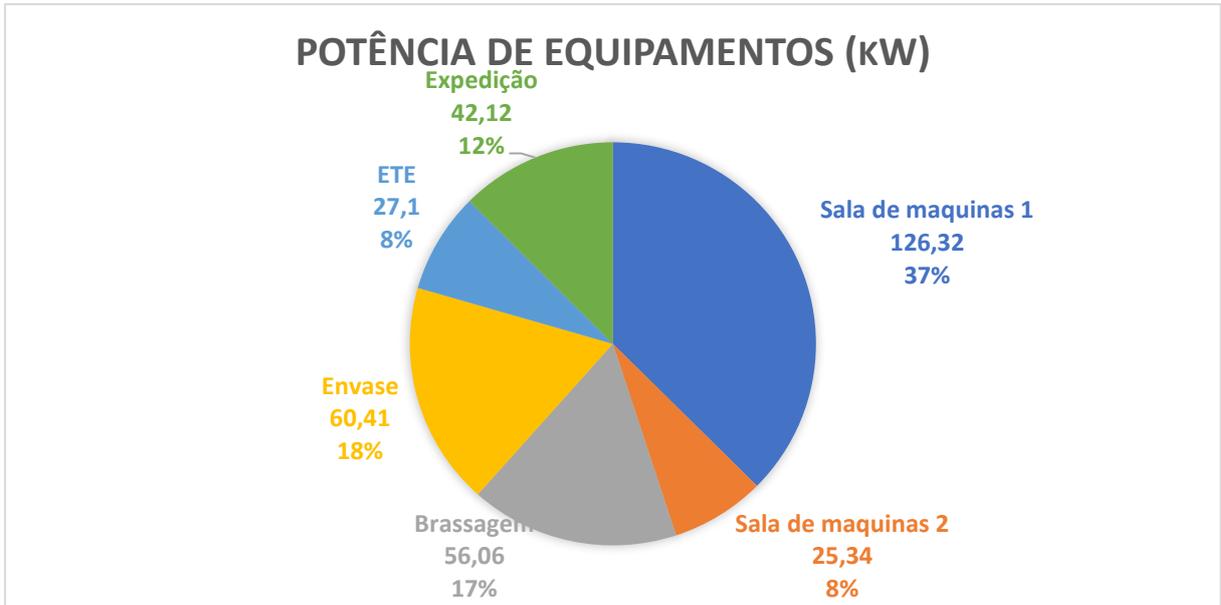
O setor de envase é o segundo em potência instalada de equipamento, possuindo as máquinas responsáveis pelo envase de garrafas, pasteurização, rotulagem e encaixotamento, correspondendo a 18% do total, com potência de 60,41 kW.

No setor da brassagem, os resultados foram de 17% da potência total, com valor nominal de 56,06 kW.

Devido a alguns chopes precisarem ser armazenados refrigerados, observa-se que a expedição ocupa o quarto lugar com duas câmaras frias. Em menores porcentagens temos a ETE e a sala de máquinas 2.

Na figura 10 é possível analisar a potência de equipamentos e sua contribuição no consumo de potência total.

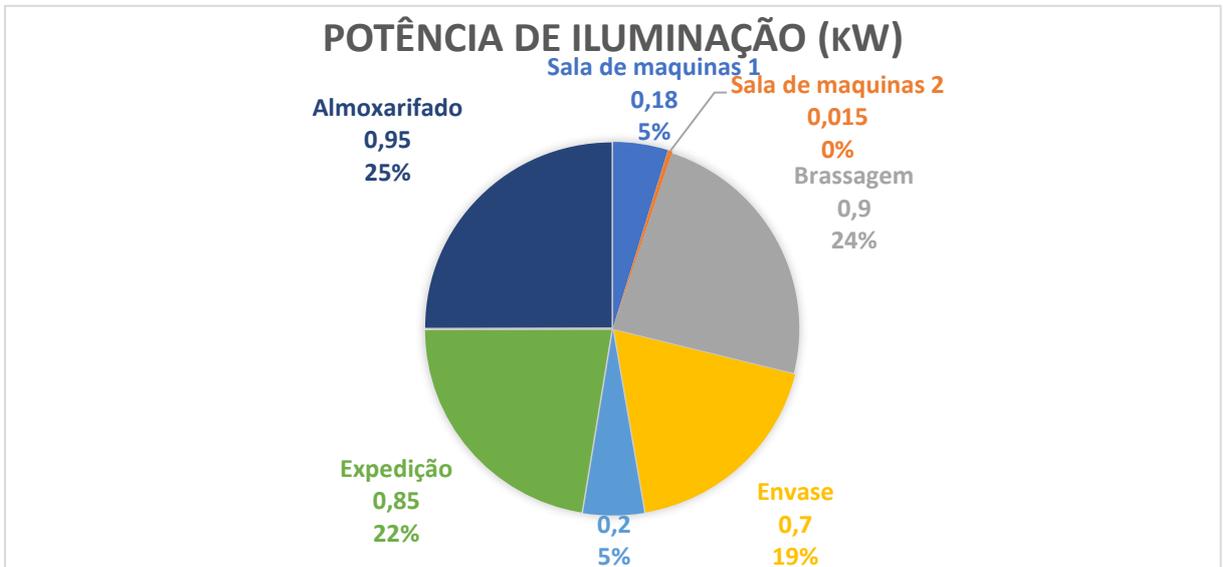
Figura 10: Potência máxima de equipamentos (kW).



Fonte: Autor (2022).

Com a figura 11, é possível observar a potência de iluminação e notar que está bem homogênea nos setores que possuem mais colaboradores. As lâmpadas utilizadas são quase todas de LED, auxiliando na redução de gastos com energia elétrica, pois são mais eficientes que os demais modelos comerciais. Um ponto relevante é que os pavilhões possuem telhas translúcidas que aproveitam a claridade diurna, evitando o consumo de energia elétrica pela presença de lâmpadas ligadas sem necessidade.

Figura 11: Potência de iluminação (kW).



Fonte: Autor (2022).

A iluminação tem uma demanda máxima de 3,795 kW, representando 1,11% do total da demanda de energia da empresa, enquanto os equipamentos possuem uma demanda máxima de 337,35 kW, corresponde a 98,89%

A iluminação se mostra muito eficiente devido aos modelos que são utilizados atualmente. Com o passar dos anos, a empresa foi substituindo as lâmpadas de modelos antigos por lâmpadas de LED, já que estas são mais eficientes em relação aos modelos antigos.

Os equipamentos têm uma eficiência classificada de moderada à boa, pois a empresa é relativamente nova no mercado, então os equipamentos não são antigos. Atualmente há equipamentos melhores e mais eficientes disponíveis comercialmente, mas a mudança de tais equipamentos depende de investimentos e da disponibilidade de recursos financeiros da empresa.

Seria possível melhorar o desempenho obtido pelos motores convencionais, substituindo-os por motores de alta eficiência. Em comparação a melhoria seria de 3% a 4%, podendo chegar à um máximo de 8%. Como o nome indica, os motores de alta eficiência (MAE) têm uma potência e fator de potência mais altos do que os motores convencionais (padrão). Este desempenho é alcançado através da utilização de melhores materiais de construção e acabamentos, bem como alterações nas características de dimensionamento do motor (aumento da secção condutora no estator, aumento do complemento do circuito magnético, etc.).

Apesar de serem mais econômicos em termos de energia, os motores de alta eficiência são, na sua forma atual, motores que exigem um investimento inicial de cerca de 25% a 30% a mais do que os motores convencionais. Diante desse aumento dos custos de investimentos, uma avaliação técnico-econômica do investimento deve ser sempre realizada por meio de uma análise custo-benefício. A avaliação econômica de um investimento vinculado à substituição de um motor convencional por um motor de alto rendimento é realizada através do cálculo do *payback*.

Uma opção para o sistema de resfriamento seria a instalação de chiller que permite controlar a velocidade da bomba e a velocidade do ventilador com base nas temperaturas ambiente e saída do fluido refrigerante, respectivamente. Em comparação com a operação baseada em ciclos liga/desliga, o resultado é que este sistema não só permite um controle mais preciso da temperatura do espaço refrigerado, mas também economiza nos custos de eletricidade, que normalmente variam de 25 a 50 por cento (MAGUEIJO, 2008).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma descrição geral dos principais processos e equipamentos de uma indústria cervejeira do sul de Santa Catarina, com um enfoque em ações realizadas e propostas de ações para melhoria na eficiência energética em relação ao consumo de energia elétrica da indústria.

Pelo fato da indústria em questão ser relativamente nova (em torno de 15 anos), a melhoria de eficiência energética está mais relacionada à automação ou sistematização de procedimentos, do que na substituição de equipamentos. Todavia, a substituição de equipamentos, mais especificamente de motores elétricos, considerando os avanços recentes nas tecnologias de motores, é algo que deve ser pensado, além de efetuada uma análise custo-benefício dessa substituição.

No mercado existem equipamentos mais econômicos comparado com os que foram apresentados, porém a substituição por novos equipamentos exige um estudo detalhado e focado em cada equipamento. Dessa forma é possível analisar aspectos como, se o investimento é compatível com a situação financeira da empresa, se os juros aplicados estão dentro do que é esperado, o custo, a necessidade de mão de obra terceirizada para instalação e manutenção e se há *payback* ou se o mesmo é muito longo, são variáveis que devem ser levadas em conta.

No setor da sala de máquinas 2, a eficiência gerada pela substituição do compressor, devido a demanda de ar comprimido consumido pela fábrica, refletiu em menos gastos de energia elétrica, diminuindo as despesas.

Na iluminação foi possível perceber que a indústria está substituindo as lâmpadas antigas que possuem uma baixa eficiência por lâmpadas de LED que são mais econômicas, atualmente, poucas lâmpadas ainda são de modelos antigos.

A conscientização dos colaboradores não é algo novo, mas pode ser melhorada, pois é algo que não gera custos e pode contribuir muito na redução do consumo elétrico, evitando os desperdícios e o mau uso dos recursos da edificação.

As análises realizadas direcionam a empresa a observar os pontos de maior e menor relevância para o consumo elétrico, buscando assim alternativas para melhorar sua eficiência energética geral, conforme a disponibilização de recursos para essas melhorias, que são de suma importância.

Os resultados não podem ser generalizados, devido a limitação do trabalho, considerando que é um estudo de caso. Outros estudos sobre energia em cervejarias de porte semelhante são necessários para verificar semelhanças e diferenças.

Sugere-se, como continuidade do trabalho, estudos integrando módulos solares fotovoltaicos e seu impacto econômico sobre o sistema, já que neste estudo de caso foram aplicadas práticas de incentivo a redução do consumo de energia elétrica e a troca por equipamentos com maior eficiência.

Igualmente, recomendam-se estudos que analisem a viabilidade econômica de mudanças nos equipamentos bem como a inclusão de novas estratégias como ampliar a iluminação natural.

6 REFERÊNCIAS

ARPRESSI. **COMPRESSOR COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA**. Disponível em: <http://www.arpressi.com.br/capa.asp?idpagina=227#:~:text=Economia%20de%20at%C3%A9%2030%25,30%25%20o%20consumo%20de%20energia>. Acesso em: 01 jul. 2022.

BALDO, Tamara Angélica. **O problema integrado de dimensionamento e sequenciamento de lotes no processo de fabricação de cerveja: modelos e métodos de produção**, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-12032015-161656/publico/Tese_TamaraBaldo_REVISADA.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2022.

BOAN M.; COLLINI D.; PEREZ C. **Manual Cerveceiro**. Buenos Aires: Malaspina, 2012.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL (Paraná) (org.). **Manual de Eficiência Energética na indústria**. Curitiba: Copel, Pdf, 2005. 155 p.

Corrêa, F. O. **Aplicação do ciclo PDCA como ferramenta de gestão de energia elétrica em uma cervejaria**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação. Engenharia de Energia. 2017.

CORRÊA, Felipe de Oliveira. **APLICAÇÃO DO CICLO PDCA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA CERVEJARIA**. 2017. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017. Cap. 5.

DELCOR, Ana Luísa de Azevedo. **ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA ARTESANAL**. 2019. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Cap. 5.

JORGE, Érico Pereira Marum. **Processamento de Cerveja sem Álcool**. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8930/material/TCC->

Erico%20(PROCESSAMENTO%20DE%20CERVEJA%20SEM%20%20C3%81LCOOL).pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KUNZE, Wolfgang. **Technology Brewing and Malting**. 3ª ed., 2004.

LACERDA, Ana Luísa Fajardo *et al.* **ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS APLICADA À PRODUÇÃO DE CERVEJA**. 2020. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Cap. 6.

LACERDA, Ana Luísa Fajardo; ROCHA, Gabriel dos Santos da; POLY, Tatiana Tostes Alvim. **Análise preliminar de perigos aplicada à produção de cerveja**. 2020. 121f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2020.

MAGUEIJO, Vítor; FERNANDES *et al.* **Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto**: plano nacional de acção para a eficiência energética. Brasil: Pdf, 2008. 100 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário da cerveja**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/anuario-dacerveja-2019/view>>. Acesso em: 04 jul. 2022.

MORADO, Ronaldo. **LAROUSSE da Cerveja**. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, Caio Jacques Alpino De; ARAÚJO, Felipe De Castro; SERRANO, Helena Lobato. **Estudo do Uso de Adjuntos em Mosto Cervejeiro**. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/734/1/TCC-Helena-Caio-Felipe%20Castro.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2022.

RICARTE, Igor Sodré. **GESTÃO DE MODALIDADE TARIFÁRIA: UM ESTUDO DE CASO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA CATARINENSE**. 2020. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Cap. 5.

TOZETTO, Luciano Moro. **Produção e Caracterização de Cerveja Artesanal Adicionada de Gengibre (*Zingiber officinale*)**, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2451/1/PG_PPGE_M_Togetto%20%20Luciano%20Moro_2017.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho *et al.* **Eficiência Energética**: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Neo Energia, Pdf, 2021. 620 p.