

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TIAGO LUTCKMEIER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA COUREIRO-CALÇADISTA:
ESTUDO DE CASO DE UM CURTUME**

PORTO ALEGRE
2021

TIAGO LUTCKMEIER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA COUREIRO-CALÇADISTA:
ESTUDO DE CASO DE UM CURTUME**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos

PORTO ALEGRE

2021

TIAGO LUTCKMEIER

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA COUREIRO-CALÇADISTA:
ESTUDO DE CASO DE UM CURTUME

Este Projeto de Diplomação foi analisado e julgado adequado para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora designada pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovado em: Porto Alegre, 24 de maio de 2021.

Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos – UFRGS
Orientador

Prof. Msc. Igor Pasa Wiltuschnig – UFRGS
Examinador

Prof. Dr. Maicon Jaderson Silveira Ramos – UFRGS
Examinador

RESUMO

Com o consumo de energia no ambiente industrial correspondendo atualmente a 47% da energia total consumida no país, promover a eficiência energética na indústria passou a ser um instrumento de competitividade no mercado. Este trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico energético e avaliar melhorias em processos e equipamentos em uma indústria do setor coureiro-calçadista. O trabalho foi estruturado em três fases, onde inicialmente foi realizada a revisão dos principais conceitos e técnicas envolvidas nos aspectos de eficiência energética, bem como normas e resoluções aplicadas a este tipo de estudo. Após esta fase foi realizada a coleta de dados na empresa. Através dos dados levantados, do fluxo de processos e da forma de utilização da energia, foi seguida uma metodologia para identificar e avaliar melhorias. Finalmente, foi realizada a avaliação econômico-financeira da viabilidade e dos ganhos de eficiência energética com a aplicação das oportunidades identificadas. Os resultados obtidos projetam uma economia de quase 9.000 kWh ao ano na substituição dos três motores mais utilizados por novos com maior rendimento. Também foi proposta a alteração no valor da demanda contratada e substituição do sistema de iluminação por lâmpadas mais eficientes, adequando os níveis de iluminância de acordo com as normas vigentes.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Curtume. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

With energy consumption in the industrial environment currently accounting for 47% of the total energy consumed in the country, promoting energy efficiency in industry has become an instrument of market competitiveness. This work aims to perform an energy audit and evaluate improvements in processes and equipment in an industry in the leather-footwear sector. The work was structured in three phases, where initially the main concepts and techniques involved in the aspects of energy efficiency were reviewed, as well as rules and resolutions applied to this type of study. After this phase, data collection and energy auditing were carried out at the company. Through the data collected, the process flow and the way of using the energy, a methodology was followed to identify and evaluate improvements. Finally, an economic-financial assessment of feasibility and energy efficiency gains was carried out with the application of the identified opportunities. The results obtained project an economy of almost 9 kWh per year in the replacement of the three most used engines with new ones with higher efficiency. It was also proposed to change the value of the contracted demand and replace the lighting system with more efficient lamps, adapting the levels of illuminance in accordance with current regulations.

Keywords: Energy Efficiency. Tannery. Economic Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma dos processos de um curtume completo.....	17
Figura 2 - Fluxograma dos processos de um curtume de semi-acabado.....	18
Figura 3 - Esquema do fluxo de trabalho.	19
Figura 4 - Planta baixa de um ambiente com várias atividades consideradas área de trabalho única.....	34
Figura 5 - Locais para instalação de bancos de capacitores.....	37
Figura 6 - Distribuição das perdas em um motor de indução trifásico.....	38
Figura 7 - Variações das perdas em função do carregamento – Motor de 15 cv.	39
Figura 8 - Componentes de uma caldeira.	45
Figura 9 - Exemplo de processo de implantação de AEE.	50
Figura 10 - Artigos produzidos: napa branca (esq.) e tapete (dir.).....	52
Figura 11 - Planta baixa do curtume.	53
Figura 12 - Posto transformador em plataforma.....	54
Figura 13 - Fulões de recurtimento (esq.) e localização do motor (dir.).....	55
Figura 14 - Rebaixadeira (esq.) e grampeadeira para couro inteiro (dir.).....	56
Figura 15 - Setor amaciamento (esq.) e motor coberto com pó de couro (dir.).....	57
Figura 16 - Lixadeira (esq.) e quadro de disjuntores (dir.).....	59
Figura 17 - Setor de classificação.	60
Figura 18 - Medidora (esq.) e couros finalizados (dir.).....	61
Figura 19 - Lâmpadas instaladas nos setores de secagem e recurtimento.	62
Figura 20 - Luxímetro MLM-1001.....	63
Figura 21 - Alicata amperímetro ET-3880.	64
Figura 22 - Modelos de Soft Starter utilizados.....	66
Figura 23 - Fatura de energia elétrica.	67
Figura 24 - Valores das tarifas horo sazonais.	67
Figura 25 - Valores de demanda medida e contratada.	69
Figura 26 - Composição dos gastos em energia elétrica.	70
Figura 27 - Painel de Controle Automático do Fator de Potência.....	71
Figura 28 - Caldeira (esq.) e placa de identificação (dir.).....	72
Figura 29 - Software Mark IV Plus 2.0.....	73
Figura 30 - Planta para simulação gerada no DIALux EVO 9.0.	76
Figura 31 - Disposição das luminárias para o caso 1.....	77
Figura 32 - Disposição das luminárias para o caso 2.....	79
Figura 33 - Motor da linha W22.....	82
Figura 34 - Custos de um motor em 10 anos.	84
Figura 35 - Comparação de demandas.....	88
Figura 36 - Análise do rendimento.	90
Figura 37 - Situação da caldeira.....	90
Figura 38 - Análise do excesso de ar.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais reações.....	46
Tabela 2 - Poder calorífico de combustíveis.....	47
Tabela 3 - Características do setor de recurtimento.....	55
Tabela 4 - Características do setor de secagem.....	57
Tabela 5 - Características do setor de amaciamento.....	58
Tabela 6 - Características do setor de lixamento.....	59
Tabela 7 - Características do setor de classificação/recorte.....	60
Tabela 8 - Características do setor de medição/expedição.....	61
Tabela 9 - Características da lâmpada LED.....	62
Tabela 10 - Luminária utilizada.....	76
Tabela 11 - Resultados da simulação para o caso 1.....	77
Tabela 12 - Luminárias utilizadas no caso 2.....	78
Tabela 13 - Luminárias utilizadas nos setores.....	78
Tabela 14 - Resultados da simulação para o caso 2.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modalidades tarifárias grupo A.....	21
Quadro 2 - Fator de carga típico para indústrias de couro.....	27
Quadro 3 - Valores de iluminância média para a indústria do couro.....	29
Quadro 4 - Valores típicos para o fator de manutenção.....	30
Quadro 5 - Visão geral das opções de M&V.....	49
Quadro 6 - Etapas dos artigos mais produzidos.....	53
Quadro 7 - Dados de iluminância dos setores.....	63
Quadro 8 - Dados dos motores.....	65
Quadro 9 - Dados de demanda.....	68
Quadro 10 - Dados de consumo.....	69
Quadro 11 - Dados do banco de capacitores.....	71
Quadro 12 - Dados da caldeira.....	74
Quadro 13 - Índices de refletância dos materiais/cores.....	75
Quadro 14 - Dados para o cálculo de viabilidade econômica da iluminação.....	80
Quadro 15 - Payback descontado.....	81
Quadro 16 - Dados dos motores WEG utilizados.....	82
Quadro 17 - Análise de viabilidade econômica do motor de 10 cv.....	83
Quadro 18 - Análise de viabilidade econômica do motor de 15 cv.....	83
Quadro 19 - Tarifas vigentes RGE Sul.....	85
Quadro 20 - Comparação entre tarifas.....	87
Quadro 21 - Resultados da simulação de demanda.....	88
Quadro 22 - Fatores de carga mensais.....	89
Quadro 23 - Economias por sistema.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	Ação de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEC	Custo da Energia Conservada
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CME	Custo Marginal de Expansão
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVO	Organização de Avaliação de Eficiência
FC	Fator de Carga
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ISO	Organização Internacional de Normalização
LED	Diodo Emissor de Luz
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PIS	Programa de Integração Social
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa
SEPLAG	Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	14
2.1.1	Um breve histórico nacional.....	14
2.1.2	Eficiência energética no setor industrial.....	15
2.2	O PROCESSO DE CURTIMENTO	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA	19
3.1.1	Grupos tarifários.....	20
3.1.2	Modalidades tarifárias	20
3.1.3	Bandeiras tarifárias	22
3.1.4	Composição da tarifa	23
3.1.5	Demanda de potência elétrica	23
3.1.6	Multas	24
3.1.7	Impostos e contribuições	25
3.1.8	Análise de otimização da opção tarifária.....	26
3.1.9	Fator de carga	27
3.2	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	27
3.2.1	Método dos lúmens	28
3.2.2	Tipos de lâmpadas utilizadas em projetos industriais.....	31
3.2.3	Análise técnica da iluminação.....	33
3.3	FATOR DE POTÊNCIA	34
3.3.1	Métodos de compensação de energia reativa excedente	35
3.3.2	Local de instalação.....	36
3.4	CARGAS MOTRIZES E ACIONAMENTOS.....	37
3.4.1	Rendimento.....	38
3.4.2	Levantamento dos dados.....	39
3.4.3	Motores de alto rendimento.....	40
3.4.4	Análise dos equipamentos	41
3.4.5	Métodos de partidas de motores.....	42
3.5	SISTEMA DE AQUECIMENTO	44
3.5.1	Componentes clássicos de uma caldeira.....	44

3.5.2	Classificação das caldeiras	45
3.5.3	Processo de combustão	46
3.5.4	Poder calorífico dos combustíveis.....	47
3.5.5	NR 13.....	47
3.5.6	Análise da eficiência energética.....	48
3.6	VALIDAÇÃO DE RESULTADOS	48
3.7	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	50
4	ESTUDO DE CASO.....	52
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS SETORES	54
4.1.1	Setor de recurtimento.....	54
4.1.2	Setor de secagem	56
4.1.3	Setor de amaciamento.....	57
4.1.4	Setor de lixamento.....	58
4.1.5	Setor de classificação	60
4.1.6	Setor de medição	61
4.2	ILUMINAÇÃO	62
4.3	CARGAS MOTRIZES	64
4.3.1	Acionamento dos motores.....	66
4.4	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	67
4.4.1	Demanda.....	68
4.4.2	Consumo	69
4.4.3	Fator de potência.....	70
4.5	SISTEMA DE AQUECIMENTO	71
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	75
5.1	ILUMINAÇÃO	75
5.1.1	Caso 1.....	76
5.1.2	Caso 2.....	78
5.1.3	Viabilidade econômica da iluminação	80
5.2	CARGAS MOTRIZES	81
5.3	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	85
5.3.1	Demanda e fator de carga	87
5.4	SISTEMA DE AQUECIMENTO	89
5.5	POTENCIAIS DE ECONOMIA.....	91
6	CONCLUSÃO.....	92
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

O setor coureiro-calçadista é de extrema importância na economia brasileira, sendo que o Brasil possui um dos maiores rebanhos comercializáveis do mundo. O setor sempre obteve destaque na economia do estado do Rio Grande do Sul, estando no ano de 2019 entre as três atividades com maiores altas econômicas na indústria de transformação (SEPLAG/RS, 2020). Dentro do cenário estadual pode-se citar a região do Vale dos Sinos como a que possui, atualmente, a maior concentração, e onde estão cerca de 50% dos empreendimentos de curtumes de transformação (SEBRAE, 2018). Esta situação deve-se, historicamente, à grande população de imigrantes alemães e italianos que trouxeram o conhecimento em couros de seus países de origem e implementaram os primeiros curtumes na região, aproveitando a grande disponibilidade de peles, oriundas primeiramente das charqueadas e mais tarde dos frigoríficos da região e do interior do Rio Grande do Sul.

Nos últimos anos o setor vem passando por algumas dificuldades, que decorrem principalmente da maior concorrência que se estabeleceu, tanto no mercado nacional, com as grandes empresas adquirindo seus concorrentes menores, como no mercado internacional onde a produção se dá com menores custos. Também pode-se citar a questão de substituição do couro por materiais sintéticos, devido ao menor custo de fabricação, fato que já vem ocorrendo há alguns anos.

Para que seja possível competir nesse cenário é importante que os custos gerenciáveis sejam os menores possíveis. Nesse ponto, a análise dos custos com energia elétrica é de suma importância para conhecer se a energia está sendo utilizada de forma eficiente. Existe a necessidade de diminuição de custos e perdas com energia elétrica, devido aos altos valores cobrados nas tarifas e também porque muitas vezes existe a real possibilidade de diminuição desse custo com estudo e acompanhamento do consumo, através das faturas de energia elétrica, tais como a aplicação de procedimentos e técnicas de gestão energética, analisando questões como melhor tipo de tarifa de energia elétrica, diminuição ou até extinção de multas por baixo fator de potência, eficiência dos motores elétricos utilizados nos processos e verificação de um sistema de iluminação mais eficiente para o local.

Uma parte importante na análise técnico-econômica é avaliar um plano para que se consiga chegar ao menor percentual de perdas de energia possível, dentro de um custo aceitável de investimentos, buscando gerar o menor custo da energia

elétrica na cadeia produtiva, baseando-se no conceito de eficiência energética, que é “usar o conhecimento teórico de forma aplicada, empregando os conceitos técnicos da engenharia e análise econômica para obter as melhores soluções para os processos com o menor custo de operação” (SANTOS et al., 2007).

1.1 JUSTIFICATIVA

A evolução do consumo de energia elétrica no Brasil, que conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2020a), no ano de 2019 cresceu 4,1% em relação a 2018, alcançando 626 TWh. As dificuldades crescentes para se atender ao crescimento desse consumo, o custo crescente das alternativas de suprimento e o impacto negativo no meio ambiente que novas plantas de oferta de energia causam justificam a adoção de medidas de eficiência energética. Utilizar racionalmente a energia, pode se tornar um diferencial competitivo, com as empresas economizando em energia elétrica e podendo aplicar esses valores em novos produtos e processos. Para tanto é necessário possuir uma visão completa dos processos, para entender as necessidades de cada empresa e aplicar as tecnologias disponíveis de maneira correta, proporcionando resultados satisfatórios nos quesitos técnicos, econômicos e energéticos.

Foram encontradas diversas referências na literatura sobre eficiência energética nos mais diversos setores da indústria, como em Marques et al. (2007) e Saidel (2005), visto que é um tema muito abrangente, porém poucos estudos específicos para a indústria coureiro-calçadista, como em Moraes (2012). Este trabalho busca apresentar as possibilidades de eficiência para esse setor.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O foco do trabalho é realizar um diagnóstico energético, que) são técnicas e métodos que visam determinar quem, quanto e como se está consumindo energia, mediante uma abordagem sistemática do fluxo energético de um determinado sistema. Com isso avaliar melhorias em processos e equipamentos em uma indústria coureiro-calçadista. Para viabilizar ao desenvolvimento, inicialmente será realizada uma revisão dos principais conceitos e técnicas envolvidas nos aspectos de eficiência energética, bem como normas e resoluções aplicadas a este tipo de estudo. Serão

estudados artigos e livros relacionados ao tema. Após esta fase, será realizada a coleta de dados. De posse dos dados e do fluxo de processos, e forma de utilização da energia, será desenvolvida uma metodologia para identificar e avaliar melhorias. Para cada caso identificado como possível melhoria será realizada uma análise econômica, de forma a determinar a atratividade de ação sobre o problema. Ao final, será possível diagnosticar a realidade energética da indústria e propor alternativas de melhorias e reduções de perdas em energia elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente, é apresentada uma revisão bibliográfica que envolve a seleção de alguns trabalhos necessários para embasar o tema explorado nesta monografia. Após esta contextualização é apresentada a fundamentação teórica utilizada para desenvolver a metodologia aplicada na avaliação da eficiência energética da empresa selecionada.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Obter a eficiência energética de uma instalação significa utilizar processos e equipamentos que sejam mais eficientes, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica (ou térmica, luminosa, etc.), tanto na produção de bens, como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade (ELETROBRÁS et al., 2009).

O uso otimizado na energia elétrica faz-se necessário nos dias atuais em função da crescente demanda energética, devido ao fato dos processos produtivos só serem possíveis com a utilização de alguma forma de energia, seja ela térmica, luminosa, elétrica, etc.

Assim, por definição, eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

2.1.1 Um breve histórico nacional

A eficiência energética é um tema que vem sendo discutido no mundo desde a primeira crise do petróleo na década de 1970. Nesse período, os combustíveis fósseis finitos já estavam dando indícios de uma possível escassez no futuro, e assim foi-se percebendo a necessidade de aumentar a eficiência energética das instalações como forma de racionalizar o consumo.

No Brasil o governo federal instituiu em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que conforme Mamede (2017), tinha como função básica integrar as ações de conservação de energia que já estavam em andamento por iniciativa de instituições públicas e privadas. O PROCEL possui

diversos subprogramas para incentivar a eficiência energética, sendo o mais conhecido o Selo PROCEL de Economia que foi criado em 1993 para promover a eficiência energética em equipamentos e incentivar o desenvolvimento tecnológico dos produtos (VIANA et al., 2012).

Na área de eficiência energética industrial o PROCEL conta com o Programa Nacional de Eficiência Industrial, instituído em 2002. O principal foco de atuação do programa são os sistemas motrizes, pelo fato de que a indústria consome 47% da energia elétrica no país, e mais da metade dessa energia é utilizada somente pelos sistemas motrizes (PROCEL, 2020).

A crise energética nacional do início dos anos 2000 tornou ainda mais relevantes as práticas de gestão energética e de ações de eficiência de energia. Uma consequência direta da crise foi a Lei nº 10.295, mais conhecida como a Lei da Eficiência Energética, criada em outubro de 2001 (VIANA et al., 2012).

A Lei de Eficiência Energética estabeleceu que todas as máquinas e equipamentos que consomem energia - seja ela elétrica, derivada de petróleo, ou de outros insumos energéticos - fabricados ou comercializados no Brasil, devem ter um nível mínimo de eficiência energética (PROCEL, 2014). Esses níveis foram definidos pelo governo com base em indicadores técnicos e econômicos.

Atualmente, o Plano Nacional de Energia (PNE 2030), definiu para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica no país, a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos, bem como evidenciou a necessidade de elaboração de um plano específico para atender esse propósito. Esse plano foi desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia e foi lançado em outubro de 2019 com o nome de Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (EPE, 2007).

2.1.2 Eficiência energética no setor industrial

Estudos de eficiência energética são caracterizados na utilização de processos e equipamentos que obtenham o melhor desempenho na produção de serviços com o menor consumo de energia. (MARQUES et al., 2007).

Saidel (2005) questiona como atender as necessidades dos países em desenvolvimento sem que as reservas de recursos naturais sejam comprometidas. Neste contexto, a eficiência energética se apresenta como um dos principais agentes

na busca da sustentabilidade, já que gerar um novo megawatt normalmente custa mais do que economizar um megawatt. Sobre este ponto temos um programa realizado pela Celesc Distribuições S.A. em 2017, chamado Indústria +Eficiente, com foco em projetos de eficiência energética industrial, onde foram investidos recursos na ordem de R\$ 19 milhões, gerando uma economia anual de 24,57 GWh, e um Custo de Energia Conservada (CEC) estimado de R\$ 107,91/MWh, o que totalizou uma economia de R\$ 4,84 milhões ao ano.

Comparando com o do Plano Decenal de Expansão Energética da EPE de 2020/2029 (EPE, 2020b), que resultou em um Custo Marginal de Expansão (CME) do sistema elétrico no valor de R\$ 247/MWh, comprova-se que a eficiência energética é uma alternativa viável, onde a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada a preços mais baixos, sem a necessidade de novas obras.

Em um trabalho de eficiência energética realizado para uma empresa de calçados de Novo Hamburgo e apresentado por Morais (2012), foi realizado um *retrofit* da iluminação, onde foram trocadas luminárias com lâmpadas tubulares de 2x110 W por lâmpadas fluorescentes compactas de 59 W, mantendo o mesmo nível de iluminação. Com isso, houve uma redução de aproximadamente 56.000 kWh anuais, resultando em uma economia de R\$ 43.000,00 ao ano.

Outra questão importante a ser considerada é que para a implantação de programas de eficiência energética em plantas industriais, é preciso ter ciência do prazo de retorno deste investimento.

Um dos indicadores de eficiência energética que podem ser utilizados é o fator de carga de uma instalação. Esse fator basicamente mede a uniformidade com que a energia elétrica é consumida. Segundo a Revista O Setor Elétrico (2013), a preocupação de uma indústria com o fator de carga é justificada pela sua limitação na capacidade de atendimento das cargas, que está relacionada a potência instalada na indústria. O fator de carga está relacionado com isso porque ele é o índice obtido através da relação entre a demanda média e a demanda máxima. Uma maneira de melhorar esse fator é diminuir o pico de demanda, através de um gerenciamento correto do uso dos equipamentos em diferentes horários de modo que a potência demandada seja diluída no período faturado, evitando picos muito maiores que a média. Uma das maneiras de se realizar essa análise é através de um analisador de demanda.

2.2 O PROCESSO DE CURTIMENTO

De uma forma geral, “couro” é uma pele animal que passou por processos de limpeza, estabilização (através do curtimento) e acabamento, tornando-se imputrescível, ou seja, tornou-se um material que não apodrece (CETESB, 2015).

O processo produtivo completo de um curtume pode ser dividido em cinco etapas principais, que são: ribeira, curtimento, recurtimento, secagem e acabamento, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma dos processos de um curtume completo.



Fonte: Autor (2021).

Conforme CETESB (2015), os curtumes são normalmente classificados em função da realização total ou parcial dessas etapas de processo. Na configuração de fluxo produtivo mais comum, as peles são fornecidas por frigoríferos aos curtumes que as processam até o couro acabado.

- Curtume completo: capaz de realizar todas as etapas do processo, desde o couro cru (pele) até o couro totalmente acabado;
- Curtume de *wet blue*: processa desde o couro cru até a etapa de curtimento, sendo nesta etapa o couro chamado de *wet blue* devido a sua aparência úmida e azul após o curtimento com cromo;
- Curtume de semi-acabado: utiliza o couro *wet blue* como matéria prima e o transforma em couro semi-acabado, compreende as etapas de recurtimento e secagem;
- Curtume de acabamento: transforma o couro semi-acabado em couro acabado.

Os principais processos mostrados na Figura 1 são apresentados resumidamente a seguir:

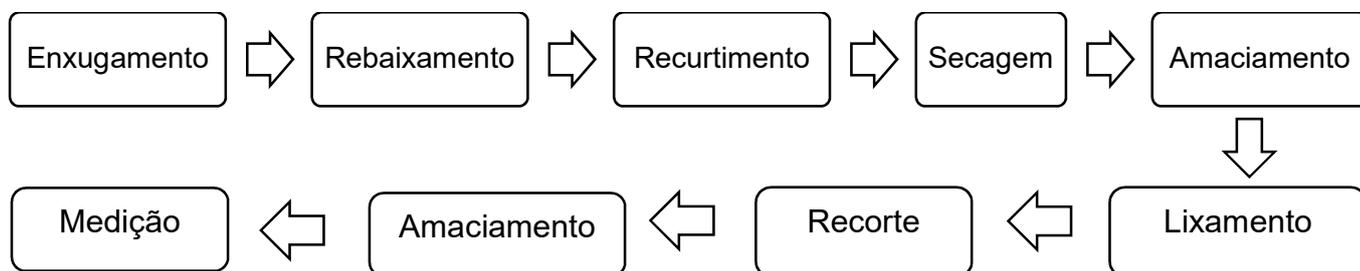
- **Ribeira**: onde ocorre a limpeza e a eliminação das diferentes partes e substâncias das peles que não irão constituir o produto final. As etapas

do processo envolvem basicamente o tratamento químico das peles que é realizada dentro de fulões, que são cilindros, normalmente de madeira, dotados de dispositivos de rotação em torno de seu eixo horizontal;

- **Curtimento:** processo que consiste na transformação das peles pré-tratadas na ribeira, em materiais estáveis e imputrescíveis, ou seja, em couros. Etapa realizada dentro de fulões, onde são adicionados as peles, produtos químicos e água;
- **Recurtimento:** etapa onde se dará ao couro as propriedades físicas e mecânicas de acordo com a destinação final do produto. Também realizada dentro de fulões com a adição de produtos químicos aos couros;
- **Secagem:** onde são realizadas operações físico-mecânicas com a finalidade de secagem e ganho de área dos couros. Esta etapa utiliza o vapor gerado pela caldeira para realizar o aquecimento das máquinas;
- **Acabamento:** conjunto de etapas que confere ao couro a apresentação e o aspecto final. Compreende, entre outros estágios, as operações de pintura e aplicação de estampas aos couros.

O curtume estudado pertence a classificação dos semi-acabados, compreendendo as etapas de recurtimento e secagem. O fluxograma deste tipo de curtume é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma dos processos de um curtume de semi-acabado.

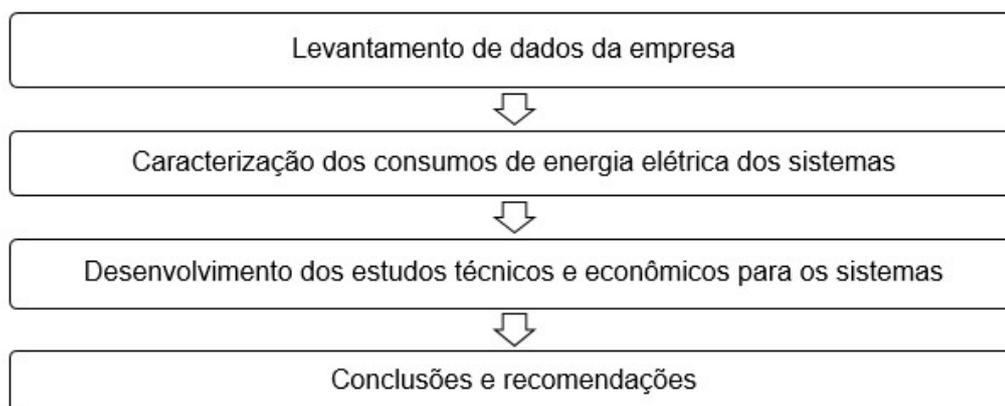


Fonte: Autor (2021).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Essencialmente, a metodologia deste trabalho está dividida em 4 partes básicas, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema do fluxo de trabalho.



Fonte: Marques et al. (2007).

A primeira etapa é realizar uma avaliação do posicionamento tarifário da empresa e a avaliação se o enquadramento tarifário está adequado ou não ao padrão de consumo da empresa.

A segunda fase é o levantamento dos dados de todos os processos que consomem energia:

- iluminação;
- cargas motrizes;
- sistemas de aquecimento.

A terceira é a avaliação de viabilidade econômica das propostas de eficiência energética sugeridas, e a quarta, a avaliação dos resultados juntamente com recomendações que visem a melhor utilização da energia.

A seguir descreve-se as etapas apresentadas nos parágrafos anteriores, e que ao serem tratadas de forma integrada constituem o referencial teórico do trabalho.

3.1 TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

A avaliação dos custos tarifários consiste em obter os históricos mensais de consumo e demanda medidos pela distribuidora e disponibilizados através da conta de energia. Com os dados são possíveis as identificações das curvas de consumo e

demanda, e assim calculados através de simulação das modalidades tarifárias disponíveis ao grupo A, qual seria o custo total em cada situação.

Em um segundo momento será efetuada a otimização da demanda contratada pelo consumidor, de forma a minimizar os custos efetivos na contratação de energia elétrica, seja pela adoção de reestruturação de processo ou até mesmo pela inserção de geração própria. Outra opção seria adotar geração de ciclo combinado, para gerar eletricidade e vapor, mais isto implica em um valor elevado, o que na maioria das vezes é descartado.

3.1.1 Grupos tarifários

O valor da energia elétrica tem influência de vários fatores como tipo de unidade consumidora, que pode ser convencional ou binômia e nível de tensão (baixa e alta tensão).

No Brasil, os consumidores estão separados em dois grandes grupos, que são apresentados a seguir.

GRUPO A

O grupo A é composto por consumidores atendidos com tensão de fornecimento superior ou igual a 2,3 kV, ou ainda, atendidos por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos subgrupos A1, A2, A3, A3a, A4 e AS (ANEEL, 2010).

GRUPO B

O grupo B é composto por unidades consumidoras com fornecimento de energia em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido em 4 subgrupos: residencial, rural, demais classes e iluminação pública.

3.1.2 Modalidades tarifárias

São o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo e demanda de energia elétrica. Elas são definidas de acordo com o grupo tarifário, segundo as opções de contratações definidas na resolução 414/2010 (ANEEL,2010). As tarifas são divididas em Tarifa Convencional Monômia e Tarifa Convencional Binômia. A

modalidade monômnia é caracterizada pela aplicação de uma tarifa de consumo (kWh), independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano, sendo aplicada aos consumidores do grupo B. Na binômnia, é cobrado tanto o consumo de energia elétrica quanto a demanda de potência, sendo aplicada a consumidores do grupo A e a algumas situações presentes em consumidores do Grupo B, no caso da Tarifa Branca

A estrutura tarifária horo sazonal é conhecida por aplicar tarifas diferenciadas de demanda de potência e consumo de energia elétrica ao longo das horas do dia (SANTOS et al., 2006). Seu objetivo é incentivar os grandes consumidores a racionalizar o consumo de energia durante os horários de ponta, através da diferenciação dos valores tarifários de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta. As modalidades tarifárias vigentes aos consumidores do grupo A são apresentadas na Quadro 1.

Quadro 1 - Modalidades tarifárias grupo A.

	Azul	Verde
Demanda (kW)	Um preço para ponta Um preço para fora de ponta	Preço único
Consumo (kWh)	Um preço para ponta Um preço para fora de ponta	

Fonte: Autor (2021).

3.1.2.1 Tarifa horo sazonal verde

Caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência (ANEEL, 2010).

3.1.2.2 Tarifa horo sazonal azul

Caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia, de acordo com as horas de utilização do dia (ANEEL, 2010).

3.1.2.3 Critérios para enquadramento

Aplicam-se as unidades consumidoras atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme as condições estabelecidas na resolução 414/2010 ANEEL.

- Na modalidade tarifária horo sazonal azul, aquelas com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV;
- Na modalidade tarifária horo sazonal azul ou verde, de acordo com a opção do consumidor, aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV, e demanda contratada igual ou superior a 300 kW;
- Na modalidade horo sazonal verde ou azul, de acordo com a opção do consumidor aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV, e demanda contratada inferior a 300 kW.

3.1.3 Bandeiras tarifárias

Atualmente é adotado no Brasil um mecanismo para auxiliar a sincronização entre os custos para produzir energia elétrica e o preço da energia fornecida aos consumidores. Esse mecanismo, chamado de Bandeiras Tarifárias, tem por objetivo incentivar o uso racional de energia, através da eficiência energética, e auxiliar no balanço de pagamentos das distribuidoras com a aquisição e fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2015).

De acordo com o período de chuvas, têm-se mais água nos reservatórios das usinas hidrelétricas para geração de energia que é a predominante em nosso país. Em meses mais chuvosos, como a disponibilidade é maior, mais hidrelétricas são acionadas. Em meses mais secos, a falta de água nos reservatórios é suprida com a ativação de usinas termelétricas, que é uma energia mais cara de ser gerada.

As bandeiras tarifárias têm como objetivo realizar essa sinalização para o consumidor, quando há maior disponibilidade de água nos reservatórios a tarifa de energia elétrica será mais barata, ao contrário de quando forem utilizadas as termelétricas que elevará o valor da tarifa. Em 2021, as bandeiras em vigor são verde, amarela e vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2 e são descritas conforme ANEEL (2015).

- Bandeira Verde: segue a tarifação normal sem nenhum acréscimo;

- Bandeira Amarela: a tarifação sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada kWh consumido;
- Bandeira Vermelha: dividida em dois patamares, no I ocorre acréscimo de R\$ 0,04169 em cada kWh consumido e no II é acrescido R\$ 0,06243 em cada kWh.

É importante entender a diferença entre as bandeiras tarifária e a tarifas propriamente ditas. As tarifas representam a maior parte da conta de energia dos consumidores e dão cobertura para custos envolvidos na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, além dos encargos setoriais. Enquanto as bandeiras tarifárias refletem os custos variáveis da geração de energia elétrica. Dependendo das usinas utilizadas para gerar essa energia os custos podem ser maiores ou menores. (ANEEL, 2015).

3.1.4 Composição da tarifa

A tarifa de consumo (TC) utilizada no cálculo da tarifa final é composta por duas parcelas: a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), conforme equação (1), e a Tarifa de Energia (TE), enquanto a tarifa de demanda (TD) é composta somente pela TUSD.

$$TC = TUSD + TE \quad (1)$$

A tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) é um valor monetário determinado pela ANEEL, em R\$/MWh ou R\$/kWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários de energia elétrica pelo uso do sistema de distribuição (ANEEL, 2010).

A tarifa de energia (TE) é um valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia elétrica (ANEEL, 2010).

3.1.5 Demanda de potência elétrica

Conforme definido na resolução 414/2010 da ANEEL, demanda é a média das potências ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela de carga

instalada em operação na unidade consumidora, em um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kvar), respectivamente.

O consumidor contrata o valor de demanda que lhe é necessário em kW junto a concessionária e esta é obrigada a disponibilizar continuamente este valor ao ponto de entrega da instalação. A medição da demanda ativa utilizada é realizada em intervalos de 15 minutos, onde será cobrado o maior valor medido entre a demanda faturada e a demanda contratada.

3.1.6 Multas

A Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL regulamenta a cobrança de multas referentes ao mau uso da energia elétrica, desde a utilização maior de demanda pelo consumidor, frente ao que foi realmente contratado, até o baixo fator de potência na instalação do consumidor.

3.1.6.1 Multa por ultrapassagem de demanda

A multa por demanda de ultrapassagem (DU) ocorre devido a demanda medida (DM) possuir valor maior que a demanda contratada (DC). Se a demanda medida for maior que a tolerância de 5% do valor de demanda contratada, haverá cobrança por ultrapassagem de demanda. A unidade consumidora pagará uma multa que resulta do valor da diferença das duas demandas multiplicada duas vezes o valor da tarifa de demanda (TD). A equação (2) apresenta a expressão para unidades consumidoras com tarifa verde contratada.

$$DU = (DM - DC) \times 2 \times TD \quad (2)$$

O valor da tarifa de demanda será de acordo com o horário registrado da ultrapassagem, podendo ser cobrado o valor da tarifa de demanda de ponta, ou do horário fora de ponta, isto para unidades consumidoras com tarifa horo sazonal azul.

3.1.6.2 Multa por energia reativa excedente e demanda reativa

A cobrança de energia reativa excedente e demanda reativa excedente se aplica as unidades consumidoras atendidas em alta tensão e as optantes pelo grupo B, atendidas em alta tensão, mas com posto transformador de até 112,5 kVA. A resolução determina que o fator de potência deve ser 0,92 capacitivo ou indutivo.

Os cálculos de energia reativa excedente e demanda reativa excedente são apresentados em (3) e (4) respectivamente.

$$ERE(p) = \sum_{t=1}^n \left[EEAM_t \cdot \left(\frac{0,92}{FP_t} - 1 \right) \right] \cdot VT(p) \quad (3)$$

$ERE(p)$ – energia reativa excedente;

$EEAM_t$ – energia elétrica ativa medida em cada intervalo ‘ t ’;

FP_t – fator de potência da unidade, calculado em cada intervalo ‘ t ’ de uma hora;

$VT(p)$ – valor da tarifa aplicada ao fornecimento em cada posto horário ‘ p ’.

$$DERE(p) = \left[MAX_{t=1}^n \cdot \left(PAM_t \cdot \frac{0,92}{FP_t} \right) - PAF(p) \right] \cdot VT(p) \quad (4)$$

$DERE(p)$ – demanda de energia reativa excedente;

PAM_t – potência (demanda) ativa medida no intervalo de integração de ‘ t ’;

$PAF(p)$ – potência (demanda) ativa faturada em cada posto horário ‘ p ’;

$VT(p)$ – valor da tarifa aplicada ao fornecimento em cada posto horário ‘ p ’;

MAX – função que identifica o valor máximo da fórmula, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto horário ‘ p ’.

3.1.7 Impostos e contribuições

Além dos encargos relacionados aos serviços de geração, distribuição e transmissão, há ainda a incidência de impostos vinculados ao negócio, sendo eles: Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), no âmbito federal, o Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), responsabilidade estadual e

Contribuição para Iluminação Pública, paga ao município. Os três primeiros incidem diretamente no cálculo da tarifa.

A expressão (5) demonstra como é calculado o valor cobrado ao consumidor final.

$$\text{Valor a ser cobrado do consumidor} = \frac{\text{valor da tarifa publicado pela ANEEL}}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad (5)$$

O valor da Contribuição para Iluminação Pública é adicionado separadamente.

3.1.8 Análise de otimização da opção tarifária

A análise de consumo de energia elétrica da empresa fornece os dados que estão ligados diretamente a produção. Através do histórico de faturas de consumo de energia elétrica, com no mínimo os 12 últimos meses, é possível visualizar como se deu o consumo ao longo do ano e através disso, simular se a tarifa utilizada é a mais conveniente. Segundo Santos et al. (2006), de maneira geral, para determinar o melhor sistema de tarifação é preciso considerar os seguintes pontos.

- Valores médios mensais de consumo e demanda durante os respectivos horários de ponta e fora de ponta;
- Valores médios mensais a serem faturados em cada uma das tarifas horo sazonais, assim como os valores de ultrapassagem que possam vir a ocorrer.
- As possibilidades de deslocamento de serviços da produção para horários de menor consumo e demanda fora do horário de ponta.

Quanto ao valor de demanda contratada, a premissa básica está em conseguir reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e as ultrapassagens de demanda. O sobre ou sub dimensionamento da demanda contratada geram custos que podem e devem ser evitados. Se a demanda solicitada for menor que a contratada, será faturada a demanda contratada e estará se pagando por uma potência não utilizada. Caso a demanda solicitada for maior que a contratada, ela será faturada e ocorrerá a aplicação de multa por ultrapassagem de demanda.

Nota-se a importância de conhecer bem os processos da empresa e a necessidade de uma alocação adequada de operação.

3.1.9 Fator de carga

Com os dados de consumo e demanda, obtém-se o fator de carga (FC), que é a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorrida no mesmo intervalo de tempo.

Esse cálculo ajuda a distribuir melhor a curva de demanda, sendo possível diminuir a demanda máxima através da alteração de horários de funcionamento de determinados equipamentos. A expressão (6) apresenta o cálculo do fator de carga de um determinado mês, levando em consideração que a demanda está disponível por 24 horas diárias durante 30 dias.

$$\text{Fator de carga} = \frac{\text{Consumo mensal (kWh)}}{\text{Demanda (kW)} \times 730 \text{ horas}} \quad (6)$$

A Quadro 2 apresenta valores típicos do fator de demanda global (*g*) e do fator de carga diário (*c*) para o ramo de atividade deste trabalho, sendo resultado da experiência de companhias concessionárias e de projetistas.

Quadro 2 - Fator de carga típico para indústrias de couro.

Ramo de atividade da empresa	Potência instalada	<i>g</i>	<i>c</i>
Couros e peles			
Indústria de peles, curtume e indústria de couro	Até 100 kW	0,43	0,27
	Acima de 100 kW e até 300 kW	0,25	0,21
	Acima de 300 kW	0,45	0,43

Fonte: Adaptado de Cotrim (2009).

3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A norma NBR/ISO 8995-1:2013 (ABNT, 2013) define o nível de iluminância mínimo para iluminação artificial de locais onde se realizam atividades industriais. Os equipamentos mais modernos (luminárias e lâmpadas) conseguem produzir a mesma

quantidade de luz utilizando menos energia, através de menores perdas em reatores, menor potência das lâmpadas e aumento do rendimento das luminárias. Um dos métodos mais simples para o cálculo de novos arranjos de luminárias é o método dos lúmens, que considera a quantidade total de fluxo luminoso necessário para determinado ambiente.

3.2.1 Método dos lúmens

É um método baseado na determinação do fluxo luminoso necessário para se obter um iluminamento médio desejado no plano de trabalho (MAMEDE, 2017). Os valores devem atender a NBR/ISO 8995-1:2013.

A equação para o fluxo luminoso é dada pela expressão (7).

$$\Phi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_m} \quad (7)$$

Φ_t – fluxo luminoso total a ser medido pelas lâmpadas, em lúmens;

E - iluminamento médio requerido pelo ambiente, em lux;

S - área do recinto, em m²;

F_m - fator de manutenção;

F_u - fator de utilização do recinto.

Os projetos luminotécnicos industriais podem possuir diferentes níveis de iluminância para a mesma área, uma vez que depende de diversos fatores, já que a iluminância dos ambientes está diretamente relacionada às exigências de requisitos visuais dos trabalhadores, como velocidade, precisão, idade média dos trabalhadores e tempo de permanência na atividade.

A NBR/ISO 8995-1:2013 apresenta um quadro com os níveis de iluminância mínimos que devem ser mantidos, assim como os valores dos índices do limite de ofuscamento unificado (UGRL) e o índice de reprodução de cor mínimo Ra, para diversos tipos de ambiente, tarefas e atividades. Também apresenta observações referentes a temperatura de cor correlata (T_{cp}) das lâmpadas.

Na Quadro 3, são apresentados os valores para indústrias que trabalham com couro.

Quadro 3 - Valores de iluminância média para a indústria do couro.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observações
13. Indústria de couro				
Trabalho em cubas, barris, tanques	200	25	40	
Descarnar, aparar, esfregar, tombar peles	300	25	80	
Trabalho em selas, fábrica de sapatos, costura, polimento, modelagem, corte, punção	500	22	80	
Triagem	500	22	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Tingimento de couro (máquina)	500	22	80	
Controle de qualidade	1 000	19	80	
Inspeção de cor	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de sapato	500	22	80	
Fabricação de luva	500	22	80	

Fonte: NBR/ISO 8995-1:2013 (2013).

A seguir apresenta-se algumas definições importantes para a aplicação e análise da iluminação de ambientes.

3.2.1.1 Fluxo luminoso

Quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida em todas as direções que pode produzir estímulo visual dada em lúmen (lm).

3.2.1.2 Iluminância

É definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda, em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido, dada em lux.

3.2.1.3 Fator de manutenção

O sistema de iluminação, ao longo do tempo, vai perdendo o seu nível de iluminação inicial em decorrência da redução do fluxo luminoso da lâmpada e da sujeira acumulada junto a luminária e a lâmpada. Este fator mede a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária no fim do período considerado para iniciar o

processo de manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação, conforme é mostrado na Quadro 4.

Quadro 4 - Valores típicos para o fator de manutenção.

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

Fonte: Santos et al. (2006).

3.2.1.4 Fator de utilização

É a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas. Depende da distribuição de luz e do rendimento da luminária, da reflexão do teto, parede e plano de trabalho, e do índice do recinto (K). É de extrema importância para um plano de trabalho adequado.

O índice do recinto, ou fator do local, é uma relação que permite classificar, do ponto de vista luminotécnico, ambientes com dimensões diversas, considerando uma distribuição padronizada de luminárias. A expressão (8) mostra este índice do recinto para a iluminação direta.

$$K = \frac{A \times B}{H \times (A + B)} \quad (8)$$

K – índice do recinto;

A – comprimento do recinto, em m;

B – largura do recinto, em m;

H – altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho, em m.

Para determinar o valor de utilização da luminária escolhida admite-se para o índice do recinto (K) o valor mais próximo do calculado e avaliam-se as reflexões médias do teto, das paredes e do plano de trabalho.

3.2.1.5 Cálculo do número de luminárias

Primeiramente é calculado o fluxo total luminoso através da expressão (9).

$$\phi T = \frac{E_m \cdot S}{F_u \cdot F_m} \quad (9)$$

ϕT – Fluxo luminoso total, em lux;

E_m – Iluminância média;

S - Área do ambiente;

F_u – Fator de utilização;

F_m – Fator de manutenção.

Cada tipo de lâmpada fornece um certo valor de lúmens. Através do número de lúmens por luminárias tem-se o número de luminárias que é mostrado na expressão (10).

$$N^{\circ} \text{ de luminárias} = \frac{\phi T}{\text{fluxo luminoso por luminária}} \quad (10)$$

3.2.2 Tipos de lâmpadas utilizadas em projetos industriais

As lâmpadas elétricas utilizam energia elétrica para gerar energia luminosa tornando possível o trabalho em ambientes com pouca iluminação natural e no período noturno. Diversos tipos de lâmpadas são utilizados, dentre os quais pode-se

destacar as lâmpadas incandescentes (em desuso), fluorescentes, vapor de sódio, vapor metálico e LED.

Neste projeto foram somente consideradas as lâmpadas fluorescentes, de vapor metálico e de LED, por serem as mais utilizadas em ambientes industriais.

3.2.2.1 Lâmpadas fluorescentes

São lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por pós fluorescentes que são ativados pela radiação ultravioleta de descarga. Normalmente possuem o formato tubular longo com um filamento em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma quantidade de gás inerte para facilitar a partida. (MAMEDE, 2017).

Também existem as lâmpadas fluorescentes compactas que possuem tamanho reduzido, e foram criadas para substituir as lâmpadas incandescentes em várias aplicações.

Principais Características:

Vida útil das lâmpadas tubulares: 7.500 a 20.000 horas;

Vida útil das lâmpadas compactas: 3.000 a 12.000 horas;

Eficiência luminosa média: 70 lm/W.

Geração de calor: baixa.

3.2.2.2 Lâmpadas a vapor metálico

É um tipo particular da lâmpada a vapor de mercúrio, e contém aditivos de iodetos, como o índio, o tálio e o sódio, para melhorar a sua eficácia e reprodução de cor (COTRIM, 2009).

A mistura adequada destes compostos no tubo de descarga proporciona um fluxo luminoso de excelente reprodução de cores, elevada eficiência luminosa e longa vida útil. São mais indicadas para iluminação externa.

Principais Características:

Vida útil: 15.000 horas;

Eficiência luminosa média: 90 lm/W;

Geração de calor: alta.

3.2.2.3 Lâmpadas LED

Os diodos emissores de luz (LED) são componentes eletrônicos que emitem luz com um baixo consumo de energia. São produzidos em diversos modelos sendo os principais os de bulbo e os tubulares. Possuem como principais vantagens longa duração, alta eficiência luminosa e baixo consumo.

Principais Características:

Vida útil: 25.000 a 60.000 horas;

Eficiência luminosa média: 100 lm/W;

Geração de calor: baixa.

3.2.3 Análise técnica da iluminação

O sistema de iluminação compreende todos os elementos que são necessários para atender ao quesito iluminação. Fazem parte desse sistema o interruptor, lâmpadas, reatores, luminárias e o ambiente no qual o sistema opera, tais como forma do ambiente, cor do piso, paredes e tetos e altura de instalação das luminárias.

Segundo Eletrobras et al. (2009), o trabalho se dá na identificação de todas as possibilidades de economia, elaborando intervenções que promovam a eficácia de sua utilização.

Neste trabalho será verificado o correto dimensionamento do nível de iluminância, levando em conta os arranjos mais eficientes. Para isso será utilizado o software DIALux evo 9.0 (DIAL, 2020), que permite a simulação e o cálculo da iluminação dos ambientes.

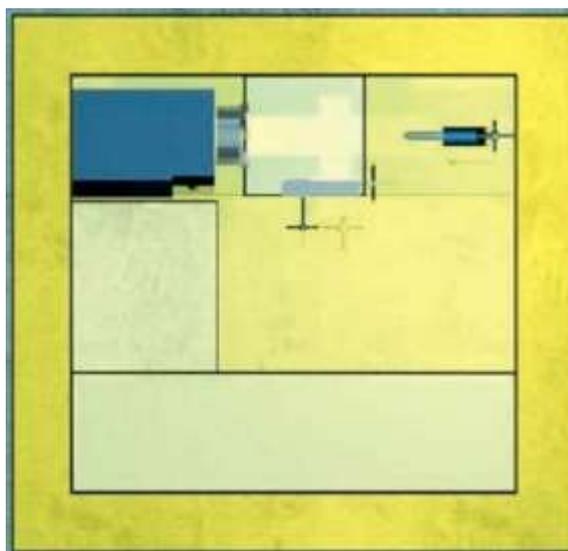
Para o levantamento da iluminância dos setores, deve-se levar em conta o tipo de atividade realizada, pois pode ser necessário diferentes níveis de iluminação. De acordo com o anexo A da NBR/ISO 8995-1:2013, os locais precisam ser definidos individualmente, de acordo com a tarefa desempenhada, em termos de localização e tamanho. Se os serviços visuais individuais forem comparáveis, uma área de trabalho única pode ser definida, na qual todos eles são realizados.

Para locais de trabalho onde as atividades exercidas possuem o mesmo nível de iluminância, ou são muito próximos, é aconselhável instalar uma iluminação genérica para o salão, garantindo a disponibilidade de uma iluminação eficiente para todos os locais de trabalho, considerando que as margens no entorno da área de

trabalho formam uma faixa de 0,5 metros de comprimento, conforme exemplificado na Figura 4.

Outro fator que deve ser levado em consideração em projetos de iluminação é a uniformidade da iluminância que é a razão entre os valores mínimo e médio da iluminância. A uniformidade da iluminância não pode ser menor que 0,7 e no entorno imediato não deve ser menor a 0,5.

Figura 4 - Planta baixa de um ambiente com várias atividades consideradas área de trabalho única.



Fonte: NBR/ISO 8995-1:2013 (2013).

O anexo B da NBR/ISO 8995-1:2013 trata dos critérios para o cálculo da malha para verificação do nível de iluminância dos locais e projetos. Conforme a norma, a malha necessária para determinar as iluminâncias e uniformidades médias depende do tamanho e da forma da superfície de referência (área da tarefa, local de trabalho ou arredores), da geometria do sistema de iluminação, da distribuição da intensidade luminosa das luminárias utilizadas, da precisão requerida e das quantidades fotométricas a serem avaliadas.

3.3 FATOR DE POTÊNCIA

De acordo com a legislação vigente, estabelecida pela resolução 414/2010 (ANEEL, 2010) e alterada pela resolução 569/2013 (ANEEL, 2013a), que disciplina os limites de fator de potência, bem como a cobrança de excedente de energia reativa e potência reativa excedente, devem ser considerados os seguintes intervalos:

- Período de seis horas consecutivas, compreendido a critério da distribuidora, entre as 23h30min e as 06h30min, apenas para os fatores de potência inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de uma hora.

- Período diário complementar ao definido anteriormente, ou seja, entre as 06h30min e as 23h30min, apenas para os fatores de potência inferiores a 0,92 indutivo, verificados a cada intervalo de uma hora.

As análises das contas de energia elétrica apontam um fator de potência médio na ponta e fora de ponta, que comparados aos 0,92 indicam ou não para a necessidade da implantação de medidas corretivas de correção do FP.

Para instalações industriais as principais causas de um baixo fator de potência são motores de indução trabalhando a vazio durante um longo período de operação, motores superdimensionados, transformadores em operação a vazio ou em carga leve e grande número de reatores de baixo fator de potência suprimindo lâmpadas de descarga.

Os aparelhos utilizados em uma instalação industrial, são em sua maioria, consumidores parciais de energia reativa indutiva, que é a energia responsável pela formação do campo magnético dos referidos aparelhos. É normalmente suprida por uma fonte geradora localizada distante da planta industrial, acarretando perdas joules no sistema de transmissão e distribuição.

3.3.1 Métodos de compensação de energia reativa excedente

Existem duas formas básicas de correção do fator de potência: a utilização de geradores (fonte própria) e a utilização de capacitores em paralelo para prover a potência reativa necessária.

Conforme Mamede (2017), o método mais econômico para fornecer potência reativa para uma indústria é através do uso de capacitores em paralelo, normalmente utilizados em forma de bancos trifásicos. Suas vantagens são que possuem alta durabilidade, baixo custo de implantação e grande flexibilização de atuação quando são utilizados controladores de operação.

Os capacitores são classificados em monofásicos e trifásicos, com valores de potência reativa, tensão e frequência tabelados, para alta ou baixa tensão. No caso de capacitores trifásicos, sua ligação normalmente é feita em delta, enquanto que os capacitores monofásicos são ligados em estrela (MAMEDE, 2017).

3.3.2 Local de instalação

A ligação pode ser realizada em diversos pontos, desde o ramal de entrada da instalação até diretamente ao equipamento. Para a análise de instalação de banco de capacitores em uma instalação, deve-se ter sempre presente que as vantagens relativas ao seu uso apenas se aplicam à parte da instalação situada a montante do ponto de ligação (COTRIM, 2009).

Tipicamente existem quatro localizações para instalações dos bancos de capacitores, que são:

- no lado de alta tensão do transformador;
- no lado de baixa tensão do transformador;
- em barramentos que alimentam grupos de cargas;
- individualmente a carga.

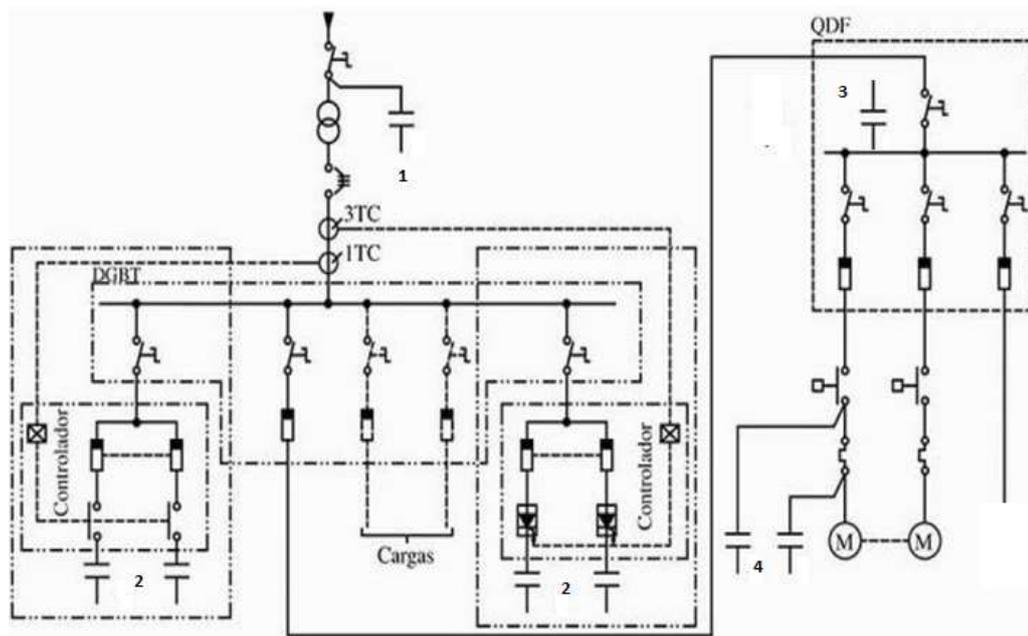
Para o caso de ligação de capacitores diretamente em um motor elétrico, chamado de compensação individual, existe uma regra básica que deve ser seguida. Essa regra diz que a potência reativa do capacitor a ser ligado, não deve exceder a potência que o motor absorve a vazio, como regra, esta não deve ser superior a 90% da potência da magnetização do motor, para que não ocorram sobre tensões devido a auto excitação do motor após a abertura da contatora. A corrente do banco de capacitores deve ser menor que a corrente de partida do motor.

Pode ser feita também a ligação dos capacitores ao barramento das cargas, sendo esta, uma das inúmeras situações intermediárias entre ligar os capacitores diretamente as cargas, ou ligar os capacitores no ramal de entrada da indústria. Para isto o barramento deve suportar a potência ativa e a reativa das máquinas.

Conforme Mamede (2017), pode-se fazer a ligação dos capacitores logo após o secundário do transformador junto ao quadro geral de baixa tensão. Essa é uma das maiores utilizações na prática, por resultar normalmente em menores custos finais. Tem a vantagem de liberar potência do transformador de força e pode ser instalado no interior da subestação. Para esse caso, existe a necessidade de mecanismos de manobra, utilizando controladores automáticos, para que o fator de potência não se torne capacitivo nos horários de menor atividade na indústria, quando o transformador opera a vazio por um longo período de tempo.

A Figura 5 apresenta em um esquema unifilar os pontos de ligação de bancos de capacitores.

Figura 5 - Locais para instalação de bancos de capacitores.



Fonte: Cotrim (2009).

3.4 CARGAS MOTRIZES E ACIONAMENTOS

A evolução dos projetos e materiais conduziu o motor de indução trifásico para operação com alta eficiência. O formato de sua curva de rendimento revela um largo patamar que cobre uma faixa de 50 a 100% de carga com altos rendimentos, porém são considerados um grande potencial de economia de energia quando se realiza diagnósticos energéticos em uma indústria (MARQUES et al., 2007).

Um dos fatores para isto é a má aplicação em grande percentual de máquinas instaladas. Problemas como acoplamentos mecânicos ineficientes, a não realização de limpeza e lubrificação, e o mau dimensionamento, muitas vezes sobre dimensionados, são exemplos de más aplicações que contribuem para a diminuição do rendimento.

A norma que especifica métodos de ensaios aplicáveis para determinação das características de desempenho de motores de indução trifásicos é a ABNT NBR 17094-3:2018 (ABNT, 2018).

3.4.1 Rendimento

O rendimento de um motor se dá pela razão entre a potência mecânica no seu eixo, e a potência elétrica entregue a máquina, como mostra a expressão (11).

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}} \quad (11)$$

η – Rendimento;

P_m – Potência mecânica, em kW;

P_{el} – Potência elétrica, em kW.

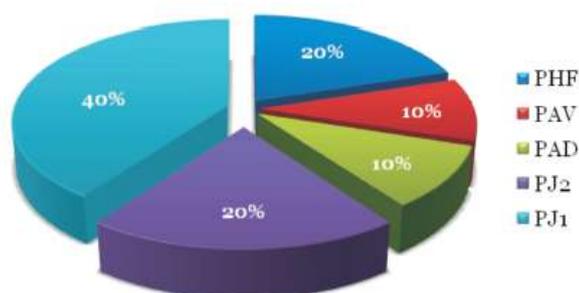
Como há a conversão de energia elétrica em energia mecânica, naturalmente ocorrem perdas durante o processo. Essas perdas podem ser agrupadas da seguinte forma: perdas joule no estator, perdas joule no rotor, perdas no ferro, perdas por dispersão e perdas por atrito e ventilação.

A expressão mais utilizada para o rendimento de motores, principalmente pela facilidade de se medir a potência elétrica em relação a potência mecânica é apresentada na expressão (12).

$$\eta = \frac{P_{el} - \sum \text{Perdas}}{P_{el}} \quad (12)$$

A distribuição das perdas em um motor varia de acordo com seu carregamento. Na Figura 6, para operação em condições nominais, é apresentada a proporção e distribuição das perdas médias em um motor de indução trifásico.

Figura 6 - Distribuição das perdas em um motor de indução trifásico.



Fonte: Viana et al. (2012).

Legenda:

PJ1 – perdas nos enrolamentos do estator;

PJ2 – perdas nos enrolamentos do rotor;

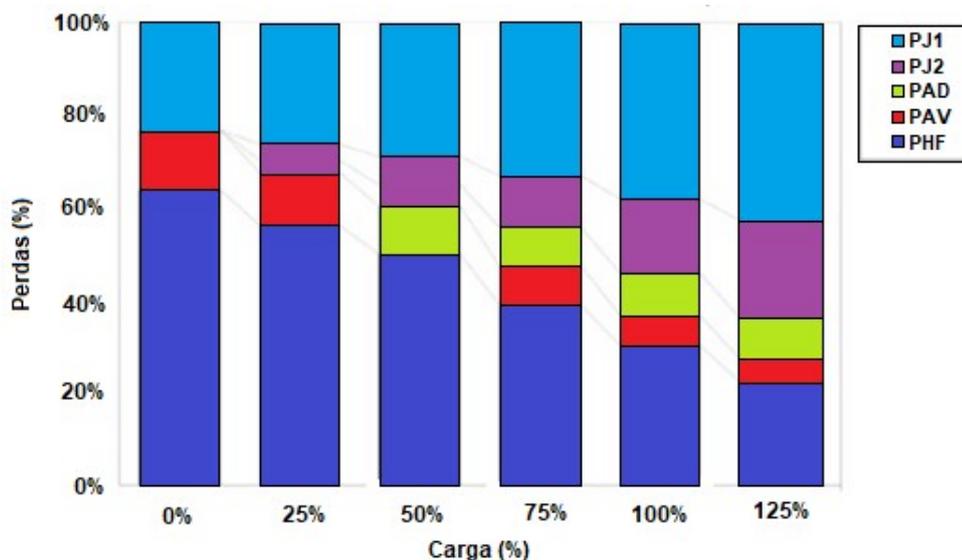
PAV – perdas por atrito e ventilação;

PHF – perdas por histerese e correntes de Foucault;

PAD – perdas adicionais.

Fora das condições nominais, a distribuição das perdas é totalmente diferente, como apresentado na Figura 7, uma vez que o valor absoluto de cada componente das perdas totais varia significativamente.

Figura 7 - Variações das perdas em função do carregamento – Motor de 15 cv.



Fonte: Santos et al. (2006).

A avaliação das reais condições de carregamento dos motores deve ser feita a partir da obtenção de diversas características de operação dos mesmos, como operação em carga e em vazio.

3.4.2 Levantamento dos dados

Segundo Eletrobras (2009), os dados mais importantes em um levantamento de campo, e que devem ser coletados com a maior atenção, para evitar diagnósticos de baixo nível de qualidade são:

- Dados provenientes de medições elétricas: Para a realização das medições elétricas será utilizado um alicate amperímetro, que permite medir os valores de corrente e tensão em cada fase. Com essas medidas será possível calcular a potência elétrica da máquina.
- Dados de placa: Para análise dos dados obtidos através das medições elétricas, são necessários os dados das placas dos motores para que seja possível comparar os valores e tirar as conclusões referentes ao dimensionamento do motor. A norma NBR 7094/1996 define que todo motor de indução deve conter informações relativas às suas características de operação e fabricação.
- Dados de carga acionada: Essa informação é importante para saber se a carga acionada é constante, variável ou intermitente. Com essas informações é possível verificar se o motor está sobre ou subdimensionado e se é necessária à sua substituição.
- Horas de funcionamento: Esses dados são possíveis de serem levantados através de conversas com o pessoal da operação. São necessários para cálculos de gastos com energia elétrica.
- Período de funcionamento: Importante para saber se a máquina está funcionando em períodos de ponta de demanda e consumo. Também é necessário para a avaliação do fator de carga.

3.4.3 Motores de alto rendimento

Os motores de alto rendimento são uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes. Segundo Mamede (2017), esses motores utilizam materiais de melhor qualidade e, para a mesma potência no eixo, consomem menos energia durante o mesmo ciclo de operação.

A principal característica desses motores é a melhoria em pontos vitais do motor onde se concentram a maioria das perdas, podendo chegar a uma redução de 30%, o que significa uma economia real de energia.

Quando se decide adquirir um novo motor, deve-se levar em conta o custo de implantação, que é formado pelos custos de aquisição e operacional. O preço do motor de alto rendimento deve ser compensado pela economia de energia que esse motor trará ao longo de sua vida útil.

A expressão (13), apresentada em Nadel et al. (2002), pode ser utilizada como um parâmetro a ser levado em conta na aquisição de um novo motor, pois ela resulta no valor de economia em kW no período de um ano.

$$kW_e = cv \times 0,7465 \times \left(\frac{1}{\eta_p} - \frac{1}{\eta_{ar}} \right) \quad (13)$$

kW_e – quilowatts economizados;

$cv \times 0,7465$ – quilowatts de saída;

η_p – rendimento do motor padrão;

η_{ar} – rendimento do motor de alto rendimento.

Muitas vezes os motores de menor potência, inferior a 10 cv, não são considerados por se imaginar que as grandes economias estão em motores de grande porte, mas, segundo Santos et al. (2006), esses motores representam 85% dos motores instalados e são responsáveis por 25% de todo o consumo industrial.

Quando se processa uma auditoria energética em uma indústria, normalmente se estuda a conveniência de substituição de construção convencional, por motores de alto rendimento (MAMEDE, 2017).

3.4.4 Análise dos equipamentos

Conforme Eletrobras (2009), quando os motores elétricos não operam em condições favoráveis, suas perdas podem chegar a 40%, sendo as principais causas dessa utilização ineficiente o superdimensionamento, reparo inadequado e acoplamento com a carga ineficiente.

Analisando o superdimensionamento, que é uma das causas que mais contribuem para sua ineficiência, os principais motivos que levam a isso são o desconhecimento da característica mecânica da carga, utilização de excesso de fatores de segurança no projeto e substituição de um motor que teve problemas por outro de maior potência, sem uma necessária avaliação

Uma das maneiras de detecção desse problema é apresentado por Eletrobrás (2009), e se dá através das medições de corrente nas três fases quando em carga máxima. Utilizando a média aritmética das três medições, deve ser marcado no gráfico

com as curvas características do motor em análise. Após a determinação graficamente do nível de carregamento do motor, se o valor estiver abaixo de 75%, o motor apresenta sinais de superdimensionamento. Se o valor for menor que 50%, pode-se substituir por outro motor de potência adequada a carga.

Uma alternativa para quando não é possível se obter o gráfico de carregamento do motor, é a determinação do fator de carregamento do motor, analisando a sua condição em plena carga.

Segundo Santos et al. (2006), o fator de carregamento pode ser obtido através da expressão (14).

$$F_C = \frac{2 \times (I_t - I_0)}{2 \times (I_N - I_0)} \quad (14)$$

F_C – fator de carregamento;

I_t – corrente de trabalho, em A;

I_0 – corrente em vazio, em A;

I_N – corrente nominal, em A.

Da mesma maneira que o método anterior, se o fator de carregamento for superior a 75%, o motor pode ser considerado adequado para o propósito a que se destina.

3.4.5 Métodos de partidas de motores

A adoção de um sistema de partidas eficiente pode ser considerada uma das regras básicas para se obter do motor uma vida útil prolongada, custos operacionais reduzidos, além de menor indisponibilidade por manutenção.

Os controles aplicados aos motores também são muito úteis no sentido de se reduzir o fluxo e o conjugado. É o caso das chaves estáticas, como a soft starter, que são equipamentos utilizados para suavizar a partida de motores, reduzindo correntes de partidas, quedas de tensões, vibrações entre outros (SANTOS et al., 2006).

Os principais tipos de partidas são apresentados a seguir.

3.4.5.1 Partida direta

É o método mais simples, em que não são empregados dispositivos especiais para acionamento dos motores. Para que possa ser utilizado esse método, os motores devem satisfazer as seguintes condições: baixa corrente de partida do motor, pois sua potência é pequena, sendo a partida do motor realizada sem carga. Normalmente as concessionárias estabelecem um limite de 5 cv como o valor onde deve-se começar a utilizar alguma técnica de partida (SANTOS et al., 2006).

3.4.5.2 Partida estrela-triângulo

Chaves utilizadas para suavizar os efeitos da corrente de partida dos motores elétricos. O procedimento de partida do motor é feito ligando-o na configuração estrela até que atinja uma rotação próxima do regime permanente, quando esta ligação é desfeita e ele então é ligado em triângulo.

Durante a partida o conjugado e a corrente ficam reduzidos a 1/3 dos seus valores nominais. Neste caso um motor só pode partir através da chave estrela-triângulo quando seu conjugado, na ligação estrela, for superior ao conjugado do eixo. Suas principais vantagens são custo reduzido, redução na corrente de partida e dimensões relativamente reduzidas. Sua aplicação só é possível em motores que possuam seis terminais acessíveis (MAMEDE, 2017).

3.4.5.3 Chaves estáticas

Popularmente conhecidas por soft starters (MAMEDE, 2017), são constituídas de um circuito eletrônico acoplado ao um microprocessador que controla um conjunto de tiristores responsáveis pelo ajuste da tensão aplicada aos terminais. Assim, pode-se controlar o torque do motor e a corrente de partida a valores desejados.

Suas principais aplicações se dão pela redução da corrente de partida, aceleração e desaceleração em rampa do motor, limitação do conjugado do motor, reduzindo a sobre sollicitação das máquinas e aumentando sua vida útil.

3.5 SISTEMA DE AQUECIMENTO

O vapor é empregado em larga escala no setor industrial, nos mais diversos setores, seja como forma de aquecimento ou até mesmo para movimentação de máquinas.

Segundo Nogueira et al. (2005), a caldeira é o mais importante gerador de vapor, e é basicamente um trocador de calor que trabalha com pressão superior a pressão atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer.

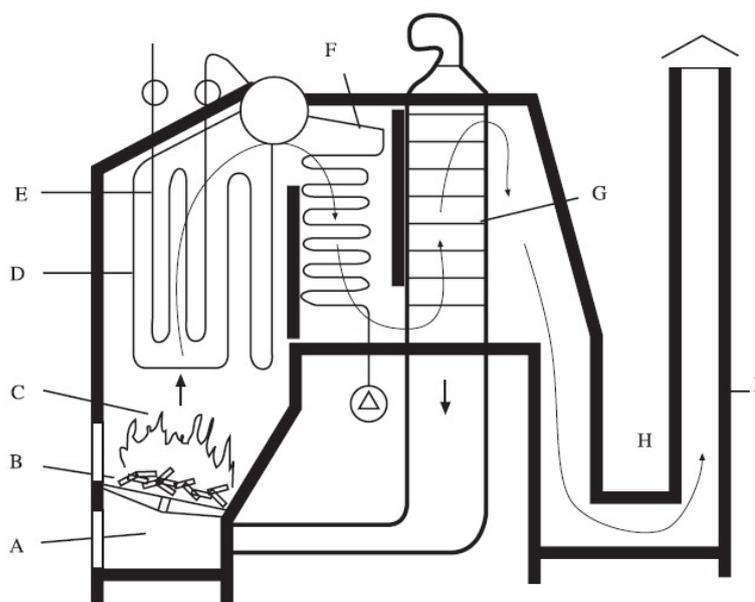
3.5.1 Componentes clássicos de uma caldeira

Os geradores de vapor são formados de uma associação de componentes, conforme Figura 8.

- A) Cinzeiro: lugar onde se depositam cinzas e ou, eventualmente restos de combustíveis que atravessam o suporte de queima sem completar a sua combustão.
- B) Fornalha: local onde se inicia o processo de queima, seja de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.
- C) Câmara de combustão: pode ser junto ou separada da fornalha. Nela se deve consumir todo o combustível antes de os produtos de combustão atingirem e penetrarem o feixe de tubos.
- D) Tubos evaporadores: correspondem ao vaso fechado e pressurizado com tubos contendo água no seu interior, a qual, ao receber calor, transforma-se em vapor.
- E) Super aquecedor: responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado gerado na caldeira.
- F) Economizador: equipamento utilizado para elevar a temperatura da água de admissão, aproveitando o calor dos gases da combustão direcionados a chaminé.
- G) Pré-aquecedor de ar: equipamento utilizado para elevar a temperatura do ar que será utilizado na queima do combustível. Também aproveita o calor dos gases da combustão.

- H) Canais de gases: são trechos intermediários ou finais de circulação dos gases de combustão até a chaminé.
- I) Chaminé: é a parte que garante a expulsão dos gases de combustão com velocidade e altura determinadas para o ambiente.

Figura 8 - Componentes de uma caldeira.



Fonte: Pêra (1990).

3.5.2 Classificação das caldeiras

Existem diversas maneiras de classificação das caldeiras. Quanto ao tipo podem ser classificadas como aquatubulares ou flamatubulares, sendo diferenciadas quanto à disposição da água em relação aos gases. Enquanto nas aquatubulares a água de alimentação circula no interior de tubos que são aquecidos externamente pelos gases em combustão, nas flamatubulares são os gases quentes que circulam no interior dos tubos para aquecer a água onde estão imersos.

Também podem ser classificadas quanto a energia empregada para aquecimento, podendo ser a partir de combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos), a partir de eletricidade (resistores, eletrodos) ou através de gases de outros processos.

Para combustíveis sólidos as fornalhas são equipadas por grelhas fixas, inclinadas, basculantes ou rotativas.

Nas pequenas caldeiras, o combustível sólido, normalmente lenha em toras, é colocado manualmente sobre um conjunto de grelhas fixas. Para caldeiras de maior

capacidade, utilizam-se sistemas com grelhas móveis ou deslizantes. (NOGUEIRA et al., 2005).

O processo de retirada dos gases provenientes da combustão é chamado de tiragem, podendo ser de maneira natural, forçada ou mista. No natural os gases saem graças as diferenças de temperatura entre a base e o topo. Na forçada os gases são eliminados com a ajuda de ventiladores sopradores ou exaustores.

3.5.3 Processo de combustão

A forma mais empregada de se obter o calor necessário à produção de vapor é através da queima de algum combustível. Portanto, são apresentados os combustíveis e seus processos de fornecimento de calor, do ponto de vista das reações envolvidas e da geração de energia térmica.

A combustão pode ser definida como uma reação química exotérmica rápida entre duas substâncias, um combustível e um comburente. As reações exotérmicas são aquelas que liberam energia térmica. (SANTOS et al., 2006).

O combustível é a substância que queima, que se oxida, contendo em sua composição, principalmente carbono e hidrogênio, e eventualmente outros elementos reagentes em menores proporções.

As principais reações entre os constituintes básicos dos combustíveis e o oxigênio são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais reações.

Reação	Calor Liberado (kJ/kg)	
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	32.600	(combustão completa)
$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	10.100	(combustão incompleta)
$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	9.990	(combustão incompleta)
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	142.120	
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	9.190	

Fonte: CNI (2005).

A combustão pode ser classificada em duas maneiras, completa e incompleta, dependendo como se dá a reação do carbono com o oxigênio. Fica evidente na Tabela 1 que a queima parcial do carbono libera bem menos energia que sua total oxidação.

A proporção exata de ar e combustível para uma combustão completa é conhecida como a relação ar/combustível estequiométrica, uma propriedade característica de cada combustível. Para lenha seca, a quantidade de ar necessária para combustão completa de um kg de lenha é de 6kg de ar. (NOGUEIRA et al., 2005).

Na prática sempre se utiliza uma quantidade de excesso de ar para se garantir a combustão completa, devido aos problemas relativos a mistura ar-combustível, que geralmente não se dá de maneira perfeita.

A determinação prática do excesso de ar é usualmente realizada por meio de medidas de composição dos gases de combustão em base seca. As medidas mais importantes são os teores de dióxido de carbono (CO_2) e oxigênio (O_2).

3.5.4 Poder calorífico dos combustíveis

O poder calorífico representa a quantidade de calor liberada na combustão de uma unidade de massa de um determinado combustível. A variedade de lenha Eucalyptos é uma das mais utilizadas na geração de calor, devido a ela possui um crescimento rápido, permitindo assim grandes áreas de reflorestamento, além de possuir característica favoráveis para sua combustão. A Tabela 2 apresenta alguns valores de poder calorífico de alguns combustíveis para comparação.

Tabela 2 - Poder calorífico de combustíveis.

COMBUSTÍVEL	PODER CALORÍFICO INFERIOR	DENSIDADE
Óleo combustível B1	9.590 kcal/kg	1000 kg/m ³
Gás natural (típico)	8.800 kcal/m ³	-
GLP	11.100 kcal/kg	-
Lenha	3.100 kcal/kg	400 kg/m ³
Bagaço de cana	2.130 kcal/kg	-
Carvão vegetal	6.460 kcal/kg	260 kg/m ³
Carvão mineral ¹	2.850 kcal/kg	-

Fonte: CNI (2005).

3.5.5 NR 13

A norma regulamentadora 13 estabelece os requisitos mínimos para a gestão da integridade de caldeiras a vapor nos aspectos relacionados instalação, inspeção, operação e manutenção, visando a segurança e a saúde dos trabalhadores. A norma

classifica os geradores de vapor nas categorias A e B, onde a diferença está na pressão de operação que na A é superior a 19,98 kgf/m² e na B está entre 0,61 e 19,98 kgf/m².

A norma também estabelece que os sistemas devem possuir dispositivos como válvulas de segurança para diminuir a pressão, instrumento que indique a pressão de vapor acumulado, assim como um sistema de alimentação de água independente do principal que evite o superaquecimento por alimentação deficiente. Também define que a caldeira deve ter placa de identificação em local de fácil acesso e bem visível.

Os operadores de caldeiras devem possuir certificado de Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras e comprovação de estágio prático. Devem possuir no mínimo como pré-requisito, ensino fundamental.

Quanto a rotina de inspeção, a norma estabelece que inspeções de segurança periódicas devem ser realizadas a cada 12 meses para caldeiras das categorias A e B. Quanto à manutenção, devem ser realizadas limpezas periódicas nas superfícies expostas a combustão que normalmente são realizadas com hastes e escovas de aço.

3.5.6 Análise da eficiência energética

As estratégias para melhoria de rendimento de uma caldeira devem estar direcionadas a economia no uso de combustível, minimização das perdas de calor no sistema gerador de vapor e durante o transporte do vapor aos locais de uso, além dos cuidados referentes a manutenção periódica, controle de gases emitidos e utilização de instrumentação confiável.

3.6 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

Para avaliação dos resultados de eficiência energética será utilizado como base o Guia de Medição e Verificação, disponibilizado pelo PROCEL e Eletrobrás (ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

O guia apresenta uma metodologia para comprovar os resultados de economia em energia e custos, resultantes de ações de eficiência energética, normalmente resultante de trocas de equipamentos.

São apresentadas quatro opções de Medição e Verificação (M&V), que possuem melhor aplicação para determinados tipos de casos, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Visão geral das opções de M&V.

Opção do PIMVP	Determinação da economia de energia	Exemplo de aplicação
Opção A - Medição isolada da AEE (medição dos parâmetros-chave): medições em campo dos parâmetros-chave e estimativa de parâmetros não selecionados para medição, sendo necessário justificar a estimativa	Cálculos de engenharia com dados das medições do consumo da linha de base e do período de determinação da economia e parâmetros estimados, sendo necessário considerar os ajustes de rotina e não de rotina	<i>Retrofit</i> de sistema de iluminação
Opção B - Medição isolada da AEE (medição de todos os parâmetros): medições em campo de todos os parâmetros ou variáveis independentes que afetam o consumo de energia	Medições do consumo da linha de base e do período de determinação da economia e/ou cálculos de engenharia, sendo necessário considerar os ajustes de rotina e não de rotina	Aplicação de inversor de frequência e controle de motor para ajustar o fluxo de uma bomba
Opção C - Toda a instalação: medição do consumo de energia em toda a instalação, sendo que medições de toda a instalação também são efetuadas durante o período de determinação da economia	Análise dos dados do medidor da linha de base de toda a instalação e do período de determinação da economia. Comparação de faturas pré e pós <i>retrofit</i> ou uma análise de regressão. Ajustes de rotina e não de rotina devem ser considerados	Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas de uma instalação
Opção D - Simulação calibrada: simulação do consumo de energia de toda a instalação, por modelos matemáticos que modelam o desempenho energético real medido na instalação	A economia é determinada por simulação do consumo de energia, calibrada com medições disponíveis	Programa de gestão de energia multifacetado (dados indisponíveis para determinar a linha de base)

Fonte: Adaptado de EVO (2012).

São definidos casos onde todos os parâmetros de influência sobre o consumo para uma determinada melhora devem ser medidos, assim como casos onde alguns parâmetros podem ser estimados devido à dificuldade de medição da variável.

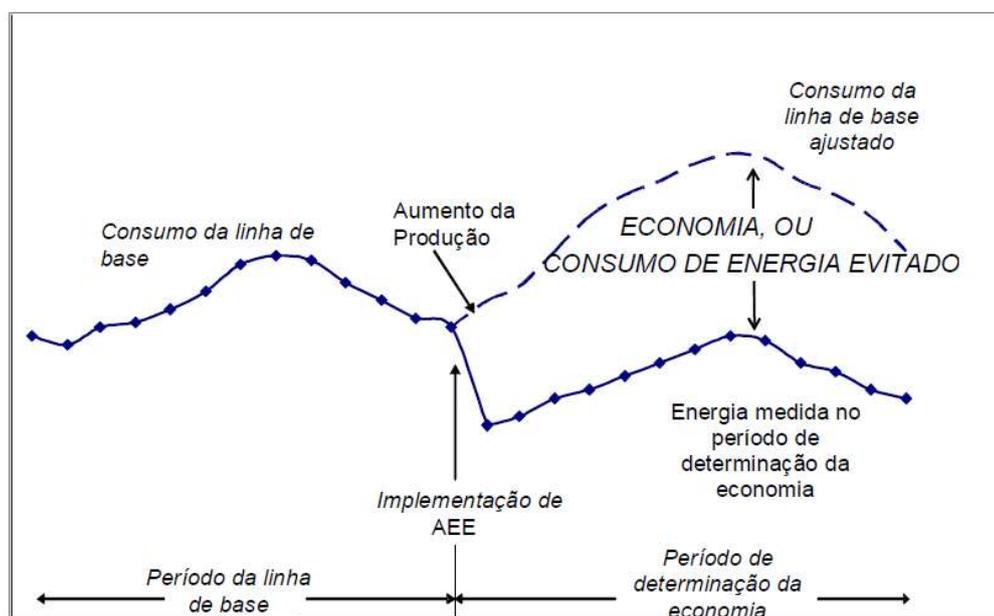
A opção C costuma ser a mais barata, pois em geral, usa o medidor da distribuidora. Neste caso, é necessário um intervalo de tempo maior para o período de determinação da economia inicial, a menos que se utilizem leituras parciais (através da memória de massa do medidor de entrada, por exemplo) (ANEEL, 2013b).

Um dos conceitos que o guia Eletrobras; PROCEL (2007) apresenta é de que “não é possível medir economia de energia, pois a definição de medição é a comparação com um padrão definido e existente”.

Existem dois períodos de medição distintos quanto ao objetivo ao que servem. O primeiro período, antes da implantação da AEE, consiste no período de linha de base, cujo objetivo é estabelecer o modelo de consumo de energia. O segundo

período, após a implantação da AEE, consiste no período de determinação da economia que medirá as variáveis independentes para introduzi-las no modelo e calcular a linha de base ajustada, e ainda realizará a medição da energia para subtrair da linha de base ajustada e calcular a economia. A Figura 9 apresenta o que que foi descrito neste parágrafo.

Figura 9 - Exemplo de processo de implantação de AEE.



Fonte: EVO (2012).

O preço da tarifa utilizada usualmente é o da tarifa vigente cobrada pela concessionária que atende ao cliente. A partir do consumo evitado se determina o custo evitado na base monetária.

3.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Um dos indicados mais recomendados para análises de viabilidade financeira é o método de Valor Presente Líquido (VPL), onde é possível determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros definida, menos o custo do investimento inicial. Basicamente, é o cálculo de quanto as receitas e pagamentos futuros, somados a um custo inicial, valeriam atualmente. O VPL é definido pela expressão (15).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I \quad (15)$$

FC_t – fluxo de caixa do período t ;

n – tempo total do projeto;

t – período (anos ou meses);

i – taxa de desconto;

I – investimento inicial.

Com essa equação, pode-se calcular o retorno do investimento sendo que os limites de tempo de retorno das ações, são definidos em contratos de desempenho do projeto ou devem considerar o tempo de vida útil dos novos equipamentos.

Para ser considerado economicamente viável, o VPL deve ser igual ou superior a zero, pois se for negativo, não compensa o investimento devido ao somatório dos valores presentes dos recebimentos serem menor que o somatório dos valores presentes de desembolsos (CASAROTTO et al., 2000).

Exemplificando, para um sistema com investimento inicial de R\$ 500.000,00, que economize anualmente R\$ 50.000,00 e gere despesas anuais de R\$ 10.000,00. O valor de FC_t seria a diferença entre os gastos e as despesas anuais resultando em R\$ 40.000,00. Utilizando esse valor na equação (15) para uma taxa de 15% ao ano e fazendo o somatório dos fluxos acumulados anualmente, chegaríamos a um valor economicamente viável no ano que o fluxo acumulado fosse maior que o valor de investimento inicial.

Outro método bastante utilizado é Payback descontado, que é definido por Souza e Clemente (2006) como um indicativo de riscos de projetos de investimento, ou seja, é o número de períodos necessários para que o fluxo e benefícios supere o capital investido, aplicando-se uma taxa de desconto considerada.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de beneficiamento de couros, localizada na cidade de Lindolfo Collor. A empresa produz em média 45 mil m² de couros por mês, sendo os artigos mais produzidos o tapete e a napa branca, que são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Artigos produzidos: napa branca (esq.) e tapete (dir.).



Fonte: Autor (2021).

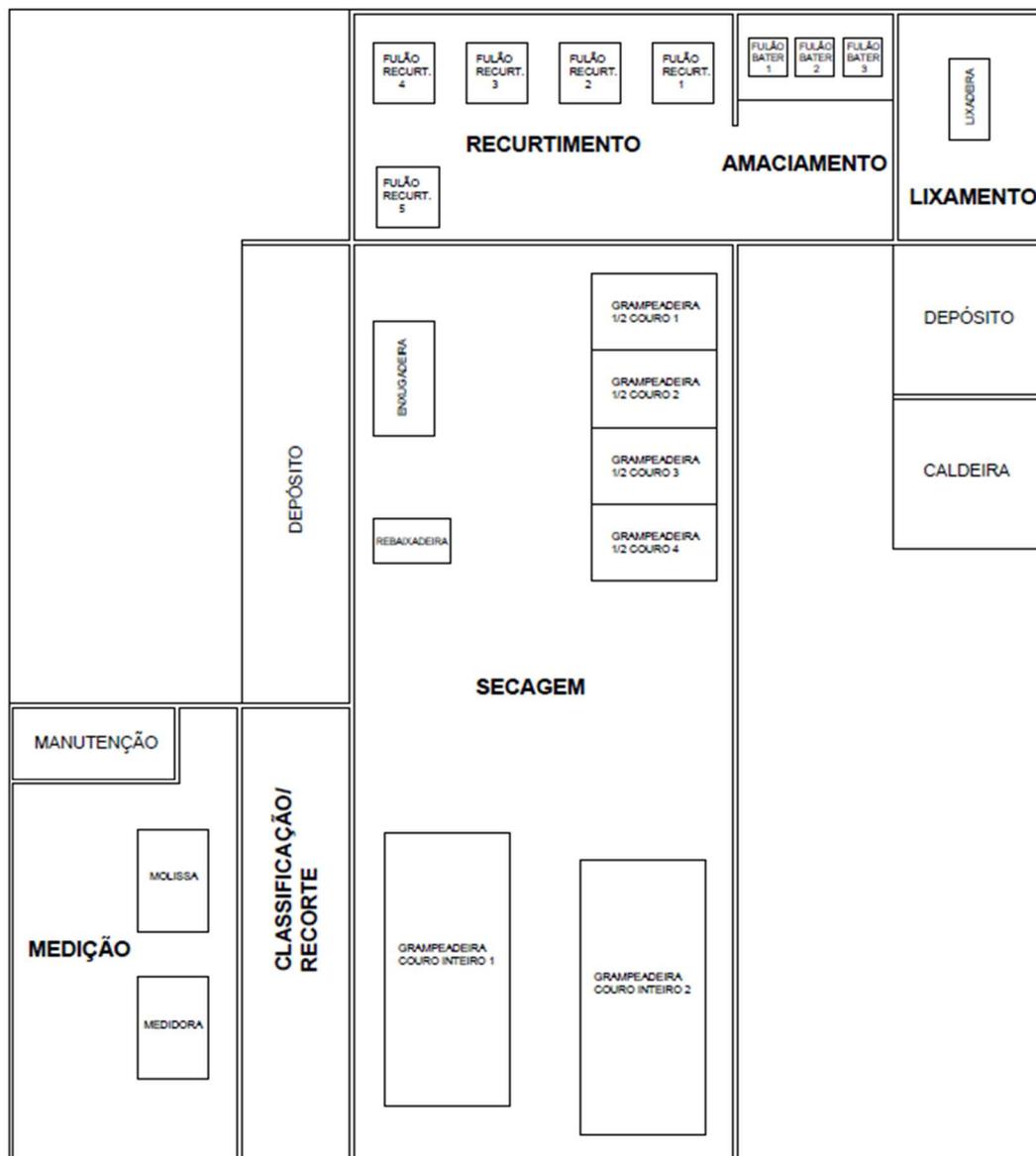
As etapas para produção de cada artigo são apresentadas no Quadro 6. Os couros chegam em *wet blue* e seguem para o setor de secagem onde estão as máquinas de pré recurtimento, enxugadeira e rebaixadeira. Após estas etapas, os couros vão para o setor de recurtimento, onde é realizado o processo de recurtimento nos fulões. Na próxima etapa os couros são secados e colocados nos fulões de amaciamento. Após são realizadas as etapas de classificação e aparas, ficando os couros prontos para serem medidos, finalizando assim o processo. Para melhor visualização do local, a planta baixa do curtume é apresentada na Figura 11.

Quadro 6 - Etapas dos artigos mais produzidos.

Napa Branca	Tapete
Etapas	
Enxuga	Enxuga
Divisão	Divisão
Fulão Recurtimento	Fulão Recurtimento
Grampeamento	Grampeamento
Fulão de Bater	Classificação
Classificação	Medição
Molissa	
Medição	

Fonte: Autor (2021).

Figura 11 - Planta baixa do curtume.



Fonte: Autor (2021).

A empresa possui uma subestação em plataforma com transformador de 225 kVA, conforme Figura 12. A tensão de fornecimento da rede primária é de 25 kV com o transformador rebaixando a tensão para 380/220 V.

Figura 12 - Posto transformador em plataforma.



Fonte: Autor (2021).

Para o estudo de iluminação e cargas motrizes, serão considerados os seis setores de produção da empresa, denominados, setor de recurtimento, de secagem, de classificação/recorte, de amaciamento, de lixamento e de medição/expedição.

Para o plano de medição e verificação foi escolhida a opção A do Quadro 5 do referencial teórico, onde serão considerados os *retrofits* no sistema de iluminação e dos motores. Essa escolha se deu por possibilitar que alguns parâmetros fossem estimados, tendo em vista que não foi possível medir todos os parâmetros necessários.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS SETORES

4.1.1 Setor de recurtimento

O setor realiza atividades em cilindros de madeira, denominados fulões, onde são realizados os processos químicos no couro. O setor possui cinco motores de 20 cv para o acionamento dos cinco fulões de recurtimento, sendo dois com chave de

partida estrela-triângulo, e os demais com soft starter. A Figura 13 apresenta imagens do setor.

Figura 13 - Fulões de recurtimento (esq.) e localização do motor (dir.).



Fonte: Autor (2021).

Para o estudo da iluminação o setor será considerado como tipo de atividade em cubas, barris e tanques, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A Tabela 3 traz os dados do ambiente.

Tabela 3 - Características do setor de recurtimento.

Características do Ambiente	
Setor	Recurtimento
Dimensão	25 m x 15 m
Tipo de atividade desenvolvida	Trabalho em cubas, barris, tanques Em = 200 lux
Características do ambiente	Ambiente médio, somente com poeira do tempo
Cor/Tipo do piso	Cimento
Cor/ Tipo parede	Cinza
Cor/Tipo teto	Alumínio
Altura do plano de trabalho	1 m
Altura do plano de trabalho até a lâmpada	3 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.1.2 Setor de secagem

Neste setor estão as máquinas de secagem dos couros, além de duas máquinas de pré-recurtimento. É o local onde está localizado o maior motor da empresa, que é de 60 cv pertencente a rebaixadeira, que é uma máquina que ajusta a espessura do couro através de uma navalha giratória. Essa máquina opera, em média, 6 horas por dia com partida através de chave estrela-triângulo. Estão instaladas também as grampeadeiras que utilizam o vapor da caldeira para a secagem dos couros. Nesses equipamentos os couros são grampeados de maneira que fiquem esticados, para ganho de área. No total são quatro grampeadeiras para $\frac{1}{2}$ couro com motores de 2 cv cada uma, e duas para couro inteiro com motor de 5 cv cada. Além dessas, o setor possui uma máquina de enxugar, com a finalidade de retirar umidade do couro, que possui um motor de 25 cv. A Figura 14 apresenta imagens do setor.

Figura 14 - Rebaixadeira (esq.) e grampeadeira para couro inteiro (dir.).



Fonte: Autor (2021).

O setor será considerado como tipo de atividade de descarnar, aparar, esfregar e tombar, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013, necessitando de uma iluminância média de 300 lux. A Tabela 4 apresenta as características do setor.

Tabela 4 - Características do setor de secagem.

Características do Ambiente	
Setor	Secagem
Dimensão	25 m x 80 m
Tipo de atividade desenvolvida	Descarnar, aparar, esfregar, tombar peles Em = 300 lux
Características do ambiente	Ambiente médio, somente com poeira do tempo
Cor/Tipo do piso	Cimento
Cor/ Tipo parede	Branca
Cor/Tipo teto	Alumínio
Altura do plano de trabalho	1,2 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.1.3 Setor de amaciamento

O setor realiza atividades em fulões de madeira, onde os couros são colocados depois da secagem, pois na grampeadeira o couro fica armado, necessitando ser amaciado novamente. O setor possui três fulões que utilizam motores de 15 cv e 10 cv. O atrito entre os couros gera o resíduo de pó de couro, que sai pelas frestas entre as madeiras dos fulões e acaba por se espalhar por todo o setor, desde o teto até os motores, conforme Figura 15, comprometendo a eficiência da iluminação e dos motores, pois prejudica a refrigeração dos mesmos.

Figura 15 - Setor amaciamento (esq.) e motor coberto com pó de couro (dir.).



Fonte: Autor (2021).

Será considerado como tipo de atividade em cubas, barris e tanques, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A Tabela 5 traz os dados do ambiente.

Tabela 5 - Características do setor de amaciamento.

Características do Ambiente	
Setor	Amaciamento
Dimensão	12 m x 15 m
Tipo de atividade desenvolvida	Trabalho em cubas, barris, tanques Em = 200 lux
Características do ambiente	Ambiente sujo, com poeira do tempo e pó de couro
Cor/Tipo do piso	Cimento
Cor/ Tipo parede	Branca
Cor/Tipo teto	Alumínio
Altura do plano de trabalho	1 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.1.4 Setor de lixamento

O setor realiza atividades na lixadeira, que é uma na máquina de lixar couros. Por ser uma atividade que gera bastante resíduo de pó de couro, só existe essa máquina no setor, que trabalha com dois motores de 30 cv. O ambiente é bastante sujo com poeira nas lâmpadas e no quadro de disjuntores. As imagens do setor são apresentadas na Figura 16.

Figura 16 - Lixadeira (esq.) e quadro de disjuntores (dir.).



Fonte: Autor (2021).

Será considerado como tipo de atividade de descarnar, aparar, esfregar e tombar, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A Tabela 6 traz os dados do ambiente.

Tabela 6 - Características do setor de lixamento.

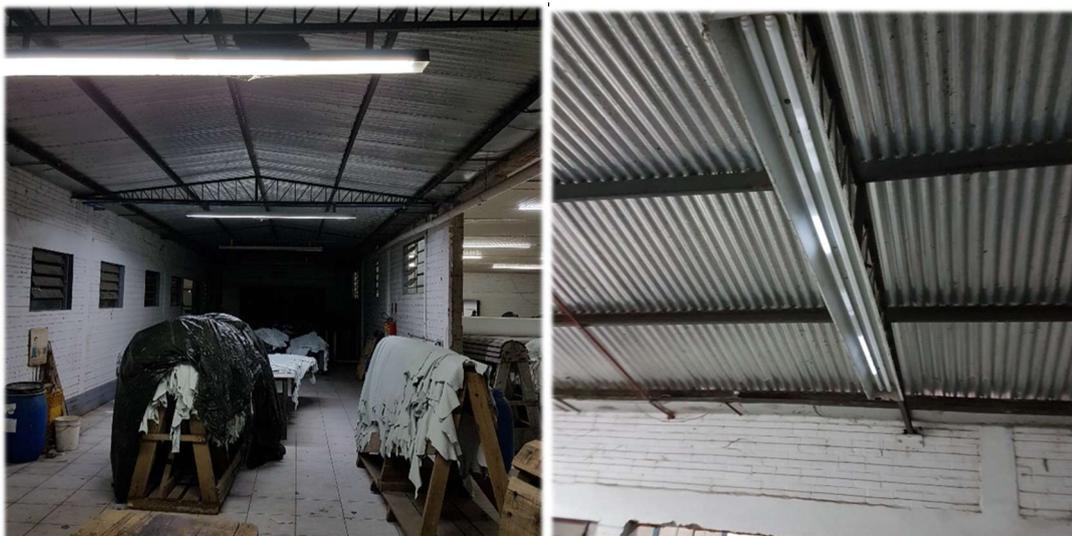
Características do Ambiente	
Setor	Lixamento
Dimensão	10 m x 15 m
Tipo de atividade desenvolvida	Descarnar, aparar, esfregar, tombar peles Em = 300 lux
Características do ambiente	Ambiente sujo, com poeira do tempo e pó de couro
Cor/Tipo do piso	Cimento
Cor/ Tipo parede	Tijolo
Cor/Tipo teto	Alumínio
Altura do plano de trabalho	1,1 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.1.5 Setor de classificação

O setor realiza a classificação e aparas nos couros. Não possui nenhuma máquina sendo o trabalho realizado de forma manual. As imagens do local são apresentadas na Figura 17.

Figura 17 - Setor de classificação.



Fonte: Autor (2021).

Os dados do ambiente estão descritos na Tabela 7, e será considerado como setor de triagem.

Tabela 7 - Características do setor de classificação/recorte.

Características do Ambiente	
Setor	Classificação/Recorte
Dimensão	7 m x 30 m
Tipo de atividade desenvolvida	Triagem Em = 500 lux
Características do ambiente	Ambiente médio, somente com poeira do tempo
Cor/Tipo do piso	Branca
Cor/ Tipo parede	Branca
Cor/Tipo teto	Alumínio
Altura do plano de trabalho	1 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.1.6 Setor de medição

O setor realiza a medição e a preparação dos couros para entrega aos clientes finais. Possui a máquina para de medição dos couros em m² e uma máquina para amaciamento e expansão de couros (molissa). A Figura 18 apresenta imagens do setor.

Figura 18 - Medidora (esq.) e couros finalizados (dir.).



Fonte: Autor (2021).

Será considerado como tipo de atividade de descarnar, aparar, esfregar e tombar, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A Tabela 8 traz os dados do ambiente.

Tabela 8 - Características do setor de medição/expedição.

Características do Ambiente	
Setor	Medição/Expedição
Dimensão	15 m x 30 m
Tipo de atividade desenvolvida	Descarnar, aparar, esfregar, tombar peles Em = 300 lux
Características do ambiente	Ambiente médio, somente com poeira do tempo
Cor/Tipo do piso	Branca
Cor/ Tipo parede	Branca
Cor/Tipo teto	Branca
Altura do plano de trabalho	1,2 m
Intervalo de manutenção do sistema	1 ano

Fonte: Autor (2021).

4.2 ILUMINAÇÃO

A maior parte da iluminação da empresa é composta por lâmpadas LED tubulares, instaladas em sua maioria, sem a utilização de luminárias. As demais lâmpadas são fluorescentes, e estão sendo substituídas à medida que vão terminando sua vida útil. As características das lâmpadas LED instaladas são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características da lâmpada LED.

Características	OuroLux Superled
Potência (W)	40
Temperatura cor (K)	6400
IRC	> 80
Fluxo luminoso (lm)	3800
Eficiência (lm/W)	> 95
Vida útil (h)	25.000
Diâmetro (mm)	30
Comprimento (mm)	2370

Fonte: OuroLux (2021).

A Figura 19 apresenta fotos dos setores de secagem e recurtimento com as lâmpadas LED instaladas.

Figura 19 - Lâmpadas instaladas nos setores de secagem e recurtimento.



Fonte: Autor (2021).

No levantamento foram realizadas as medidas no nível de iluminância dos ambientes, através do aparelho luxímetro mostrado na Figura 20. Também foram coletados os dados das características dos setores, como dimensões e características construtivas, que serão utilizados no cálculo da iluminação.

Figura 20 - Luxímetro MLM-1001.



Fonte: Minipa (2021).

Foram realizadas as medições dos níveis de iluminação em todos os setores, obtendo-se um nível de iluminância média em cada local. Somente o setor de recurtimento atendeu ao valor estabelecido em norma. Na Quadro 7 são apresentados os valores medidos.

Quadro 7 - Dados de iluminância dos setores.

Setor	Pontos medidos	Iluminância média (lux)	Iluminância prevista em norma (lux)	Uniformidade
Recurtimento	15	272	200	0,35
Amaciamento	6	66	200	0,35
Secagem	61	78	300	0,13
Lixamento	6	181	300	0,72
Classificação	7	195	500	0,49
Medição	18	121	300	0,74

Fonte: Autor (2021).

Será realizado o estudo para um *retrofit* na iluminação da empresa, buscando atender aos requisitos mínimos da NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Para isso será utilizado o software DIALux EVO 9, que é uma ferramenta de modelagem e cálculo

luminotécnico. Será simulado também, um arranjo com as mesmas lâmpadas já utilizadas, mas com o número de lâmpadas adequado e com a utilização de luminárias. Após, será realizada a viabilidade econômica do projeto, considerando a aquisição das luminárias e o consumo de energia elétrica através do cálculo do VPL.

4.3 CARGAS MOTRIZES

Para essa análise foram obtidos os dados dos motores utilizados nas máquinas. Foram realizadas medidas das máquinas operando em vazio, e em regime de trabalho. Também foram coletados os dados das placas dos motores. O aparelho utilizado para as medições é apresentado na Figura 21. Os dados do levantamento dos motores estão na Quadro 8.

Figura 21 - Alicate amperímetro ET-3880.



Fonte: Minipa (2021).

Quadro 8 - Dados dos motores.

Máquina	Rebaixadeira			Grampeadeira			Grampeadeira 1/2			Enxugadeira		
Tipo de motor	Assíncrono			Assíncrono			Assíncrono			Assíncrono		
Tensão (V)	220/380			220/380			220/380			220/380		
Fases	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Corrente nom. (A)	103,9	103,9	103,9	8,95	8,95	8,95	4,33	4,33	4,33	26	26	26
Corrente vazio (A)	32	34	35	4,23	4,22	4,23	2,73	2,73	2,71	11,18	11,19	11,17
Corrente trab. (A)	100	102	103	7,8	7,9	7,9	4,02	4,01	4,03	24,2	24,4	24,3
Potência	60 cv			5 cv (2)			1,5 cv (4)			15 cv		
Rotação (RPM)	1776			1765			1760			1750		
COS θ	-			0,8			0,85			0,86		
Rendimento (%)	-			85,6			86			91		
Tipo partida	Y/ Δ			Y/ Δ			Direta			Y/ Δ		
Operação horas/dia	6			12			12			6		
Carregamento (%)	94,1			75,6			80,6			88,5		

Máquina	Medidora			Molissa			Lixadeira		
Tipo de motor	Assíncrono			Assíncrono			Assíncrono		
Tensão (V)	220/380			220/380			380/660		
Fases	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Corrente nom. (A)	6,7	6,7	6,7	11,43	11,43	11,43	82,67	82,67	82,67
Corrente vazio (A)	3,21	3,22	3,22	6,9	6,8	6,9	32,25	32,24	32,24
Corrente trab. (A)	5,8	6,1	6,2	10,62	10,94	10,86	75,6	76,2	75,8
Potência	3 kW			19,5 kW			30 cv (2)		
Rotação (RPM)	1720			1750			1760		
COS θ	-			-			0,85		
Rendimento	-			-			-		
Tipo partida	Y/ Δ			Y/ Δ			Y/ Δ		
Operação horas/dia	6			6			3		
Carregamento (%)	80,7			86,1			86,5		

Máquina	Fulões de Bater			Fulões de Bater			Fulões de Recurt.		
Tipo de motor	Assíncrono			Assíncrono			Assíncrono		
Tensão (V)	220/380			380/660			220/380		
Fases	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Corrente nom. (A)	12,07	12,07	12,07	9,47	9,47	9,47	28,7	28,7	28,7
Corrente vazio (A)	6,5	6,7	6,4	2,2	2,1	2,1	4,4	4,1	4
Corrente trab. (A)	11,3	11,5	11,0	7,9	8,1	8,2	24,4	23,5	21,9
Potência	15 cv (2)			10 cv (1)			20 cv (5)		
Rotação (RPM)	1755			1760			1760		
COS θ	0,86			0,85			0,86		
Rendimento	87			86			92		
Tipo partida	Y/ Δ			Y/ Δ			Soft Starter e Y/ Δ		
Operação horas/dia	21			21			9		
Carregamento (%)	86,1			81,0			77,8		

Fonte: Autor (2021).

Como apresentado no Quadro 8, todos os motores estão com carregamento entre 75% e 100%, para o cálculo realizado conforme a equação (15). Isto indica que não estão sub ou sobre dimensionados.

Será realizado o estudo da substituição dos motores de menor eficiência, e que possuem maior tempo de operação diária, por motores de alto rendimento, tendo em vista que se pode obter uma economia significativa de energia elétrica. Para isso será utilizado o simulador WEG See+ (WEG, 2021), que é um software para simulação de motores de alta eficiência, com foco na redução do consumo de energia elétrica na indústria.

4.3.1 Acionamento dos motores

Os fulões de recurtimento são acionados por soft starter e por chave de partida estrela triângulo. As soft starter são da fabricante Moeler, modelo DS6, que possui ajustes de tempo de partida e parada, além de percentual inicial de tensão. O outro aparelho é da fabricante WEG, modelo SSW 05 Plus, que possui os ajustes de tensão inicial, tempo de aceleração, tempo de parada e corrente do motor. Esse modelo é mais completo, oferecendo proteções para o motor como sobrecarga, rotor bloqueado e falta de fase. Os demais motores são acionados por chaves de partidas estrela triângulo.

A Figura 22 mostra os dois modelos utilizados na empresa.

Figura 22 - Modelos de Soft Starter utilizados.



Fonte: Autor (2021).

Analisando as máquinas da empresa, observa-se que os controladores de partida estão instalados nos fulões de recurtimento, que são os equipamentos que possuem a partida mais crítica, que é em carga. Os demais equipamentos possuem chave de partida estrela-triângulo, onde são partidos em vazio e somente quando os couros são introduzidos nas máquinas, elas estarão operando em carga.

4.4 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A empresa é atendida pela concessionária RGE Sul na tensão de 23,1 kV, e possui contratada a tarifa horo sazonal verde, pertencendo ao subgrupo A4, conforme é mostrado na Figura 23.

Figura 23 - Fatura de energia elétrica.

Roteiro de Leitura	Lote	PN	Reservado ao Fisco
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;"> <p>RGE Sul Distribuidora de Energia S.A.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Uma empresa CPFL Energia</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: small;"> <p>Avenida São Borja, 2801 Bairro Fazenda São Borja CEP 93032-525 - São Leopoldo - RS CNPJ: 02.016.440/0001-62 Inscrição Estadual: 124/0305939</p> </div> </div>			
<p>Nota Fiscal / RE - Ato Declaratório Conta de Energia Elétrica</p> <p>Data de Emissão 03/01/2021 Data de Apresentação 04/01/2021 Página 01 de 02</p>			
<p>DADOS DO SEU CÓDIGO</p>			
<p>Classificação: Tarifa Verde-A4 Industrial</p>			

Fonte: RGE Sul (2021).

Os valores cobrados pela concessionária para a tarifa verde são apresentados na Figura 24. No valor já está acrescido o ICMS de 18%, e a eles devem ser acrescentadas as taxas de PIS (média de 0,956% ao mês) e COFINS (média de 4,412% ao mês). Além dessas, deve ser acrescentada a taxa de tarifa rural (8%), pois a empresa está localizada na zona rural do município.

Figura 24 - Valores das tarifas horo sazonais.

Sub Grupo	TUSD				TE (R\$/MWh)						Ultrapassagem (R\$/KW)		
	R\$ KW	Ponta		Fora Ponta	TE	Ponta			Fora Ponta				
		R\$ MWh	R\$ MWh			Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	TE	Bandeira Verde		Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha
A3a (30 a 44 kV)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4 (2,3 a 25 kV)	22,87	907,62	85,77	435,59	435,59	449,02	498,02	259,96	259,96	273,39	322,39	45,74	

Fonte: RGE Sul (2021).

4.4.1 Demanda

Analisando os dados das contas de energia elétrica do ano de 2020, pode-se observar que a empresa sofreu multas por ultrapassagem de demanda contratada em oito meses do ano, conforme mostrado no Quadro 9, totalizando R\$ 15.036,02 de multa por ultrapassagem de demanda no ano.

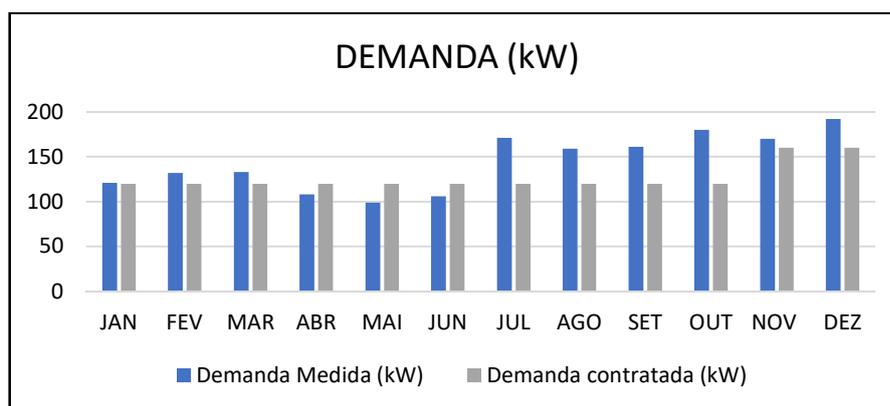
Quadro 9 - Dados de demanda.

Mês	Demanda contratada (kW)	Demanda medida (kW)	Demanda faturada (kW)	Custo kW demanda (R\$)	Valor da demanda (R\$)	Demanda de ultrapassagem (kW)	Custo kW ultrapassagem demanda (R\$)	Valor da multa (R\$)
JAN	120	121,893	120	31,552	3846,07	0	0	0
FEV	120	132,635	132,635	26,550	3521,49	12,635	53,100	670,93
MAR	120	133,660	133,660	26,269	3511,21	13,660	52,538	717,68
ABR	120	108,773	120	26,964	3235,78	0	0	0
MAI	120	99,384	120	26,501	3180,23	0	0	0
JUN	120	106,272	120	26,526	3183,12	0	0	0
JUL	120	171,855	171,855	28,674	4927,92	51,855	57,349	2973,89
AGO	120	159,326	159,326	29,829	4752,55	39,326	59,658	2346,12
SET	120	161,458	161,458	29,899	4827,48	41,458	59,978	2479,12
OUT	120	180,498	180,498	29,883	5393,95	60,498	59,767	3615,83
NOV	160	170,396	170,396	30,024	4803,98	10,396	59,603	312,13
DEZ	160	192,306	192,306	29,720	5715,45	32,306	59,440	1920,32
Total					50.899,23			15.036,02

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que mesmo com o aumento de 40 kW na demanda contratada, ocorrido no mês de novembro, a empresa continuou a sofrer multas em novembro e dezembro. A Figura 25 apresenta o gráfico para comparação das demandas medidas e contratadas.

Figura 25 - Valores de demanda medida e contratada.



Fonte: Autor (2021).

4.4.2 Consumo

Analisando os dados de consumo de energia elétrica do Quadro 10, observa-se que o consumo fora de ponta corresponde a 81% do consumo total, sendo o restante o consumo na ponta. Sabe-se que a tarifa verde possui o valor do kWh muito elevado no horário de pico, por isso a importância de não se utilizar grandes cargas nesse período. É possível observar que nos meses de abril, maio e junho houve queda no consumo de energia elétrica devido ao início da pandemia de COVID-19 no Brasil.

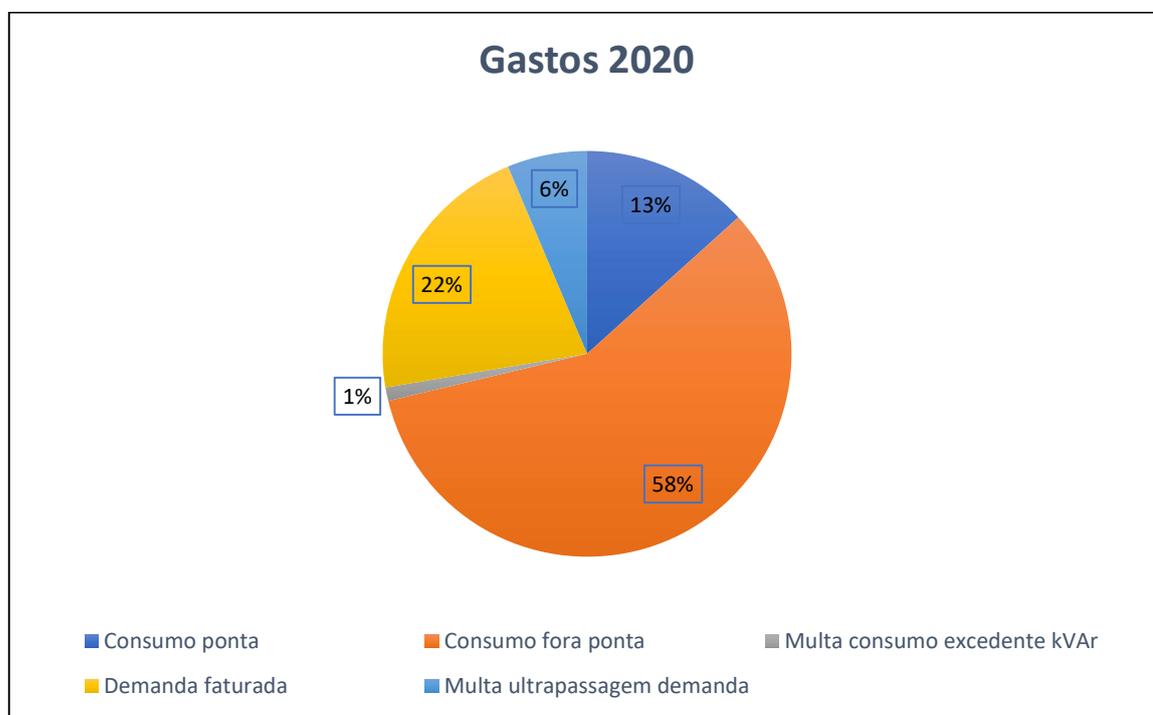
Quadro 10 - Dados de consumo.

Mês	Consumo ponta (kWh)	Custo kWh ponta TE+TUSD (R\$)	Valor do consumo ponta (R\$)	Consumo fora de ponta (kWh)	Custo kWh fora ponta TE+TUSD (R\$)	Valor do consumo fora ponta (R\$)	Consumo reativo excedente fora ponta (kWh)	Custo kWh consumo excedente fora ponta (R\$)	Valor do consumo excedente (R\$)
JAN	501	1,936	969,93	21937	0,523	11474,23	939,310	0,418	392,66
FEV	675	1,629	1100,66	22445	0,439	9878,81	741,690	0,351	260,89
MAR	544	1,612	877,43	21329	0,434	9288,19	824,920	0,348	287,10
ABR	191	1,654	317,62	16120	0,446	7205,75	1122,58	0,357	401,03
MAI	148	1,626	242,14	14230	0,438	6251,67	1561,28	0,351	548,19
JUN	173	1,627	281,75	11852	0,438	5211,73	954,070	0,351	335,28
JUL	1560	1,709	2670,20	32163	0,447	14411,56	579,460	0,356	206,69
AGO	3158	1,751	5533,73	36550	0,450	16481,57	186,014	0,358	66,61
SET	2470	1,755	4337,85	37976	0,451	17165,2	201,376	0,358	72,28
OUT	3121	1,754	5478,44	40944	0,451	18496,8	171,581	0,358	61,55
NOV	2494	1,762	4399,22	31892	0,453	14475,59	109,732	0,360	39,55
DEZ	3293	1,745	5749,13	43059	0,448	19346,05	734,676	0,356	262,17
Total			31958,0			138212,92			2541,34

Fonte: Autor (2021).

A Figura 26 apresenta a composição dos gastos em energia elétrica para o ano estudado.

Figura 26 - Composição dos gastos em energia elétrica.



Fonte: Autor (2021).

O maior gasto com energia elétrica provém do consumo fora de ponta, sendo que as multas pagas correspondem a 8% do total gasto no ano.

Serão simuladas as outras opções de tarifas utilizando os valores de consumo e demanda do ano estudado, para comparação de custos entre as opções.

4.4.3 Fator de potência

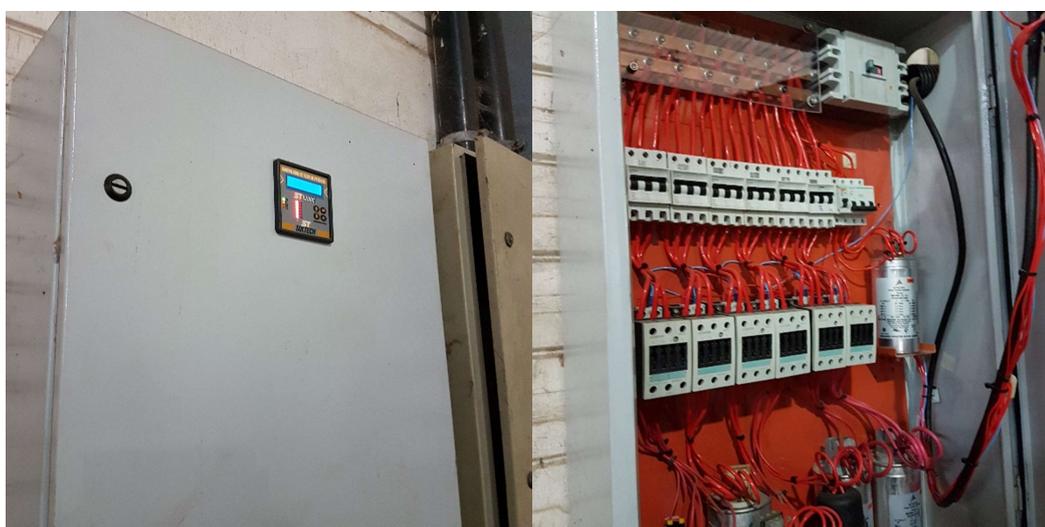
A empresa possui um banco de capacitores automático, apresentado na Figura 27, instalado junto ao QGBT da instalação. O controle do banco é realizado por um controlador automático que está programado para manter o fator de potência em 0,95. O banco é composto de 06 estágios comutados via relé, que resulta em uma potência média de 10 kvar por estágio. Em um dos estágios, as células capacitivas utilizadas são do tipo monofásica em 220 V, nos demais são do tipo trifásica, alimentadas em 380 V, com potência nominal variando de 1,0 até 15,0 kvar. O Quadro 11 apresenta os dados do banco.

Quadro 11 - Dados do banco de capacitores.

Banco de Capacitores		
Estágio	Tensão (V)	kvar Total
1	220	3,0
2	380	8,3
3	380	8,3
4	380	6,3
5	380	15,0
6	380	15,0

Fonte: Autor (2021).

Figura 27 - Painel de Controle Automático do Fator de Potência.



Fonte: Autor (2021).

Analisando as faturas de energia elétrica, temos que a multa por consumo excedente de reativos corresponde a 1% do faturamento anual em energia elétrica, o que mostra que o banco instalado está deixando de atender a carga da empresa.

4.5 SISTEMA DE AQUECIMENTO

A empresa possui uma caldeira para geração de vapor que é utilizado nas máquinas de secagem, e também para aquecimento da água utilizada nos processos dos fulões de recurtimento. A Figura 28 apresenta a imagem da caldeira e de sua placa de identificação.

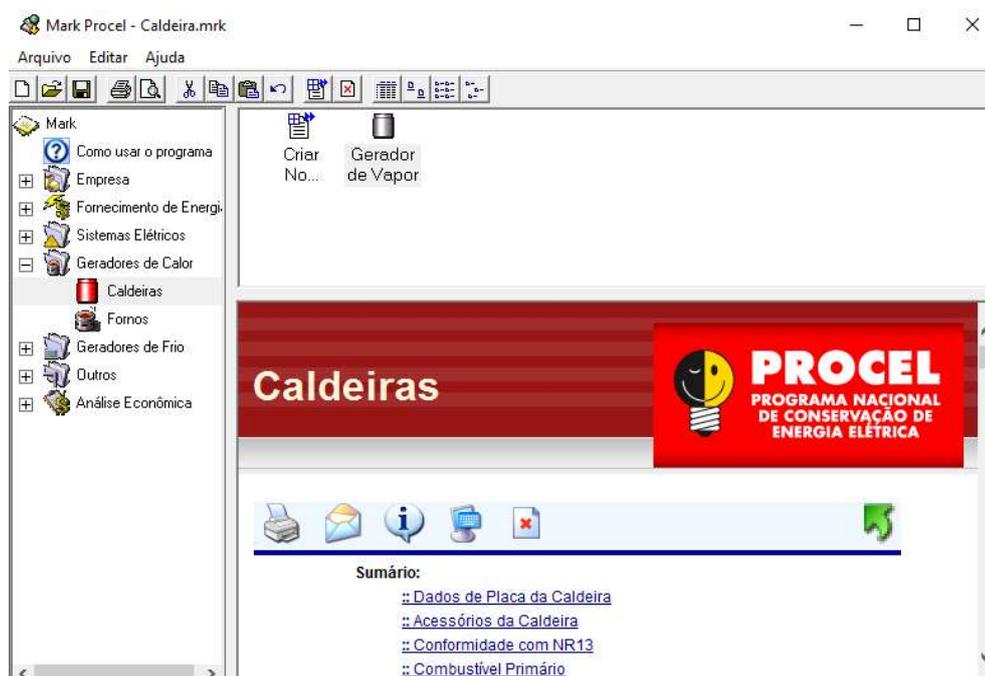
Figura 28 - Caldeira (esq.) e placa de identificação (dir.).



Fonte: Autor (2021).

Para análise da eficiência térmica da caldeira será utilizado o software Mark IV Plus 2.0, disponibilizado no site do PROCEL Info., apresentado na Figura 29. Este programa tem o objetivo de determinar a possibilidade de diminuição do custo do consumo de combustível, que na empresa estudada é de lenha de eucalipto. Partindo do cálculo da eficiência atual do equipamento, são sugeridas mudanças e melhorias, que possibilitam um melhor uso da energia térmica e resultem não só na conformidade com as normas vigentes, mas também no aumento da eficiência energética do equipamento.

Figura 29 - Software Mark IV Plus 2.0.



Fonte: PROCEL (2006).

Para realização do cálculo de eficiência, o software necessita de informações obtidas pelo levantamento junto ao equipamento. Os tópicos necessários são divididos em:

- Dados de placa;
- Acessórios da caldeira;
- Conformidade com NR13;
- Combustível primário;
- Dados de operação;
- Medições dos gases da chaminé;
- Análise de eficiência energética.

Os dados necessários para a análise foram coletados da placa de identificação e junto ao funcionário responsável pela operação da caldeira, e estão contidos no Quadro 12.

Quadro 12 - Dados da caldeira.

Dados Software Mark IV Plus		
Dados de Placa da Caldeira	Valor	Unidade
Identificação	Gerador de Vapor	
Tipo de Caldeira	Flamotubular	
Dispositivo de Queima	Grelha plana / inclinada	
Capacidade de Produção de Vapor	2	ton/h
Pressão Máxima Admissível	15	kgf/cm ²
Acessórios da Caldeira		
Estado Isolamento Térmico	Precário	
Superaquecedor	SIM / NÃO	
Economizador	SIM / NÃO	
Pré-Aquecedor de Ar	SIM / NÃO	
Recuperação do Condensado	SIM / NÃO	
Tratamento de Água	SIM / NÃO	
Frequencia de Purga	DIÁRIA / SEMANAL / MENSAL	
Quantidade de Purga	1	
Conformidade com NR13		
Nível dos Operadores	Qualificados	
Rotina de Manutenção	EXISTE / NÃO EXISTE	
Inspeções Regulares	EXISTE / NÃO EXISTE	
Ano de Fabricação	2013	
Combustível Primário		
Combustível	Lenha de eucalipto	
Consumo Mensal	120	m ³ /mês
Custo	60	R\$/m ³
Dados de Operação		
Temp. Ambiente	25	°C
Umidade do Ar	50	%
Temp. do Ar de Admissão	25	°C
Temp. da água de Alimentação	20	°C
Temp. do Combustível	25	°C
Temp. do Vapor	140	°C
Pressão de Operação	6	kgf/cm ²
Produção Média de Vapor	-	ton/h
Tempo Médio de Operação	380	h/mês
Medições dos Gases da Chaminé		
Gás Monitorado	O2 / CO2	
Temp. na Chaminé	140	°C
Teor do Gás	16	%
Tiragem	FORÇADA / NATURAL	

Fonte: Autor (2021).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa, serão realizadas análises de viabilidade econômica para os sistemas estudados.

5.1 ILUMINAÇÃO

Os dados do levantamento foram inseridos no programa computacional DIALux EVO, tendo sido simulados dois cenários de iluminação. O primeiro considerando as lâmpadas já utilizadas e um segundo com novas luminárias mais eficientes. O Quadro 13 traz dados do levantamento e o índice de refletância de cada material e cor, que são dados pelo software e utilizados no cálculo do fator de utilização, sendo possível observar a importância de utilização de cores claras nas instalações.

Quadro 13 - Índices de refletância dos materiais/cores.

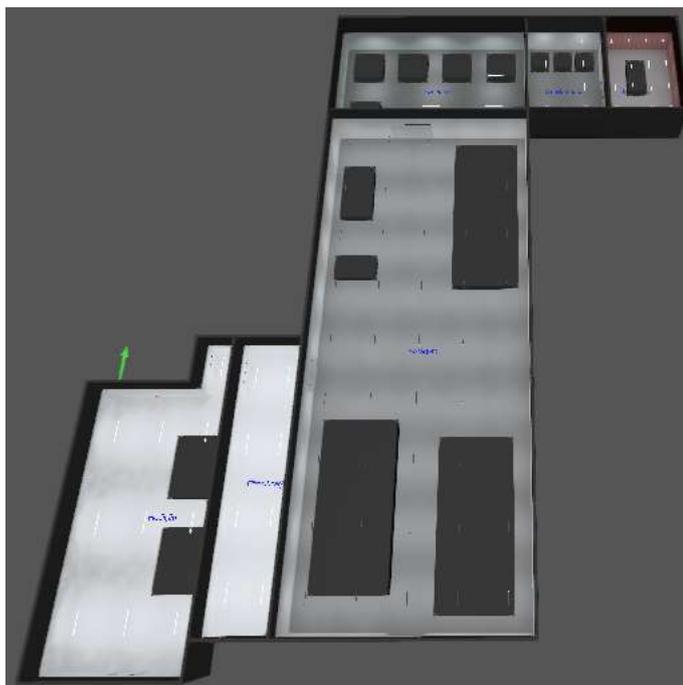
Setores	Parede		Piso		Teto	
	Cor/Tipo	Índice (%)	Cor/Tipo	Índice (%)	Cor/Tipo	Índice (%)
Recurtimento	Branca	86	Concreto	34	Alumínio	70
Secagem	Branca	86	Concreto	34	Alumínio	70
Amaciamento	Branca	86	Concreto	34	Alumínio	70
Lixamento	Tijolo	21	Concreto	34	Alumínio	70
Classificação	Branca	86	Piso branco	76	Forro PVC branco	76
Medição	Branca	86	Piso branco	76	Forro PVC branco	76

Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

Os fatores de manutenção considerados para os setores são para um período de uso sem limpeza de 12 meses, sendo os setores de lixamento e amaciamento considerados como ambientes sujos e os demais setores, ambientes médios.

Para um estudo mais eficiente, foi construída uma maquete 3D no DIALux, a partir da planta baixa desenhada no AutoCAD. A Figura 30 exhibe o modelo gerado no programa.

Figura 30 - Planta para simulação gerada no DIALux EVO 9.0.



Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

5.1.1 Caso 1

Considerando a mesma lâmpada já utilizada, mas instalada com a utilização de luminárias, de modo que atenda aos requisitos mínimos de iluminância definidos pela norma. Os dados da luminária utilizada no software são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Luminária utilizada.

Luminária	OS-122
Comprimento (mm)	2400
Lâmpada indicada	2x42W
Rendimento (%)	88

Fonte: Intral (2021).

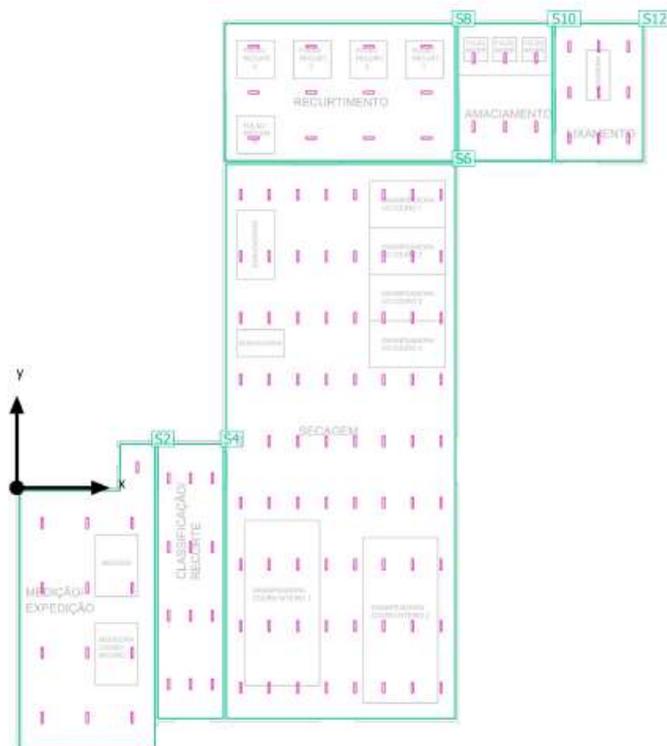
O resultado gerado pelo programa é o valor médio de iluminância obtido nos recintos. A Tabela 11 apresenta os valores obtidos na simulação onde são apresentados os valores de iluminância média, iluminância mínima, iluminância máxima e a uniformidade da iluminação. A Figura 31 apresenta a disposição das luminárias colocadas automaticamente pelo programa.

Tabela 11 - Resultados da simulação para o caso 1

Properties	\bar{E} (Target)	E_{min}	E_{max}	g_1
Plano de uso (Medição) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	303 lx (≥ 300 lx) ✓	161 lx	579 lx	0.53
Plano de uso (Classificação) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	519 lx (≥ 500 lx) ✓	300 lx	834 lx	0.58
Plano de uso (Secagem) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	328 lx (≥ 300 lx) ✓	195 lx	426 lx	0.59
Plano de uso (Recurtimento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	219 lx (≥ 200 lx) ✓	102 lx	471 lx	0.47
Plano de uso (Amaciamento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	256 lx (≥ 200 lx) ✓	101 lx	515 lx	0.39
Plano de uso (Lixamento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	303 lx (≥ 300 lx) ✓	106 lx	517 lx	0.35

Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

Figura 31 - Disposição das luminárias para o caso 1.



Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

5.1.2 Caso 2

No caso 2, foi realizada a simulação de uma nova iluminação, com luminárias de LED, sem a necessidade de instalação de lâmpadas. As luminárias utilizadas são da fabricante Intral e estão descritas na Tabela 12. As luminárias propostas para os setores de amaciamento e lixamento possuem IP65, devido à grande quantidade de pó gerado nos locais. As demais luminárias escolhidas são recomendadas para ambientes industriais e possuem uma boa eficiência lm/W.

Tabela 12 - Luminárias utilizadas no caso 2.

Luminária	VS LED 07859	Palas 06406	Aster SL 07545
Potência (W)	30	81	58
Temperatura cor (K)	5000	4000	6000
IRC	> 80	> 80	> 80
Fluxo luminoso (lm)	4200	10500	8400
Eficiência (lm/W)	140	130	145
Vida útil (h)	50.000	50.000	50.000
Comprimento (mm)	1230	1200	2280

Fonte: Intral (2021).

As luminárias utilizadas em cada setor são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Luminárias utilizadas nos setores.

Setores	Led SL 07545	Led 06406	VS Led 07859
Recurtimento	X		
Secagem		X	
Amaciamento			X
Lixamento			X
Classificação	X		
Medição	X		

Fonte: Autor (2021).

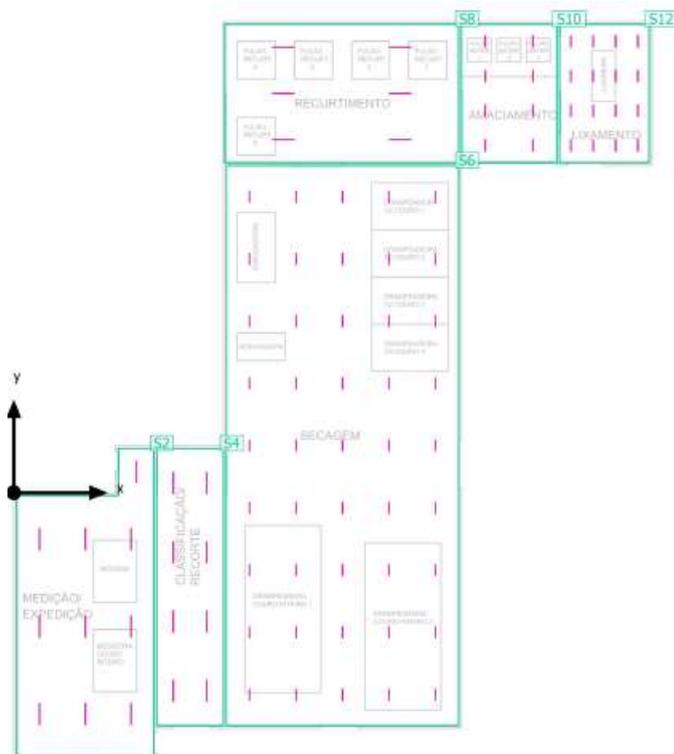
Realizando a simulação no software, obtém-se os resultados e a disposição das luminárias, conforme Tabela 14 e Figura 32.

Tabela 14 - Resultados da simulação para o caso 2

Properties	\bar{E} (Target)	E_{min}	E_{max}	g_1
Plano de uso (Medição) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	342 lx (≥ 300 lx) ✓	154 lx	708 lx	0.45
Plano de uso (Classificação) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	505 lx (≥ 500 lx) ✓	265 lx	819 lx	0.52
Plano de uso (Secagem) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	331 lx (≥ 300 lx) ✓	155 lx	506 lx	0.47
Plano de uso (Recurtimento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	239 lx (≥ 200 lx) ✓	93.1 lx	638 lx	0.39
Plano de uso (Amaciamento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	206 lx (≥ 200 lx) ✓	105 lx	326 lx	0.51
Plano de uso (Lixamento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 1.000 m, Wall zone: 0.000 m	309 lx (≥ 300 lx) ✓	122 lx	417 lx	0.39

Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

Figura 32 - Disposição das luminárias para o caso 2.



Fonte: DIALux EVO 9.0 (2020).

5.1.3 Viabilidade econômica da iluminação

Para análise de viabilidade será considerada que as lâmpadas ficam acessas durante um turno de trabalho de 10 horas, considerando que a empresa funciona das 7h até às 17h, sendo 270 dias trabalhados no ano, mesmo tempo utilizado no simulador de motores da WEG. O Quadro 14 apresenta os dados e os custos dos equipamentos.

Quadro 14 - Dados para o cálculo de viabilidade econômica da iluminação.

	Caso 1	Caso 2		
Tipo de lâmpada	SuperLed	Led SL 07545	Led 06406	VS Led 07859
Potência (W)	40	58	81	30
Fluxo luminoso (lm)	3800	8400	10500	4200
Eficiência (lm/W)	95	145	130	140
Vida útil (horas)	25.000	50.000	50.000	50.000
Nº de luminárias	124	24	45	24
Nº lâmpadas por luminária	2	0	0	0
Horas acessas por ano	2700	2700	2700	2700
Expectativa de vida útil (anos)	9,26	18,52	18,52	18,52
Potência total por tipo (W)	9.920	1392	3645	720
Potência total por caso (W)	9.920	4.945		
Preço unitário lâmpada (R\$)	50	0	0	0
Preço unitário luminária (R\$)	100	200	380	140
Custo por tipo (R\$)	24.800	4.800	17.100	3.360
Custo total por caso (R\$)	24.800	25.260		
Custo anual por caso (R\$)	2.678	1.363		
Consumo (kWh)	9,92	4,94		
Consumo anual (kWh)	26.784	13.365		
Preço kWh (R\$)	0,448	0,448		
Valor consumo total anual (R\$)	9.026	4.504		
Total de custos anuais (R\$)	11.704	5.867		

Fonte: Autor (2021).

Os valores de custos anuais em consumo de energia elétrica, resultam em R\$ 12.000,00 para o caso 1 e R\$ 5.978,00 para o caso 2, com uma diferença de R\$ 6.013,00 entre os casos. Conhecido o valor de investimento necessário para o novo sistema, e da economia que ele proporcionará, pode-se analisar a viabilidade do investimento através do VPL, onde para o investimento ser viável, o resultado deve ser positivo. Considerando uma taxa de atratividade de 5%, e o tempo de 5 anos, que

é o período de garantia das luminárias, obtém-se a equação (16) e o resultado na expressão (17).

$$VPL = \left[\frac{6013}{(1 + 0,05)^1} + \frac{6013}{(1 + 0,05)^2} + \frac{6013}{(1 + 0,05)^3} + \frac{6013}{(1 + 0,05)^4} + \frac{6013}{(1 + 0,05)^5} \right] - 25260 \quad (16)$$

$$VPL = 773,14 \quad (17)$$

Como o resultado do VPL é positivo, o projeto é considerado viável financeiramente.

Calculando o payback descontado é possível observar no Quadro 15, que somente entre o quarto e quinto ano o saldo ficou positivo. Assim, o retorno do investimento ocorreria aproximadamente em 4 anos e 10 meses.

Quadro 15 - Payback descontado.

	VPL	Saldo
Ano		-25260,00
1º	5726,67	-19533,33
2º	5453,97	-14079,37
3º	5194,26	-8885,11
4º	4946,91	-3938,20
5º	4711,34	773,14

Fonte: Autor (2021).

Analisando a energia economizada, tem-se uma redução de 13.419 kWh anuais, o que poderia resultar em uma economia de R\$ 6.011,00 nos próximos anos de vida útil do sistema de iluminação, considerando o valor de tarifa utilizado anteriormente.

5.2 CARGAS MOTRIZES

Nesta etapa, serão realizadas análises para substituição dos motores dos fulões de amaciamento, por motores mais eficientes, e que suportem melhor as condições de operação.

Para essa análise serão considerados os motores de alta eficiência da fabricante WEG, que através do software See+ realiza os cálculos de economia de energia elétrica, e de viabilidade econômica do investimento.

Os motores da linha W22, Figura 33, foram concebidos para fornecer um rendimento praticamente constante na faixa de 75 a 100% da carga nominal. Dessa forma mesmo que o motor não opere em carga nominal, seu rendimento não sofre alterações consideráveis (WEG, 2021).

As opções de motores de alta eficiência são o W22 IR3 Premium, que atende os números de rendimento mínimos estabelecidos pela portaria de interministerial nº 1, e o W22 Super Premium, que excede os valores mínimos estabelecidos pela mesma portaria.

Figura 33 - Motor da linha W22.



Fonte: WEG (2021).

Os dados dos motores analisados de 10 cv e 15 cv são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 - Dados dos motores WEG utilizados.

Modelo	W22 Super Premium		W22 IR3 Premium	
Potência (cv)	10	15	10	15
Número de polos	4	4	4	4
Rotação nominal (RPM)	1776	1770	1765	1760
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Tensão (V)	220/380	220/380	220/380	220/380
Corrente (A)	27,6/15,9	38,8/22,42	25,6/14,8	37,6/21,7
Rendimento (%)	92,7	93,1	91,7	92,4
Fator de potência	0,77	0,8	0,84	0,83

Fonte: WEG (2021).

Para análise de viabilidade financeira, o software necessita de dados como idade dos motores e de número de rebobinagens. Para todos os motores foram considerados a idade de 10 anos, que é o tempo de atividade da empresa, e a quantidade de rebobinagens sendo duas, que é o número mínimo já realizado em cada motor.

Com isso, os resultados de viabilidade econômica são apresentados nos Quadros 17 e 18, para os motores de 10 e 15 cv respectivamente, considerando o funcionamento de 21 horas por dia durante 268 dias ao ano. Estes motores ficam ligados após o final do expediente, parando somente no horário de ponta de forma automática. Será considerado o valor de kW/h de R\$ 0,448, que é o valor do kWh do mês de dezembro de 2020.

Para a análise também será considerada a adesão no programa de Plano de Troca WEG, onde um motor usado de qualquer marca, vale desconto na aquisição de um motor WEG novo. Com isso a empresa promove a utilização de motores mais eficientes e de baixa manutenção.

Quadro 17 - Análise de viabilidade econômica do motor de 10 cv.

Modelo	W22 Super Premium	W22 IR3 Premium
Preço médio do motor (R\$)	6.021,26	4.642,9
Investimento (R\$)	6.021,26	4.642,9
Potencial de economia (%)	6,66	5,64
Economia (kWh/ano)	3.247,85	2.751,29
VPL	2.909,3	2.881,4
Payback (anos)	3,79	3,45

Fonte: WEG (2021).

Quadro 18 - Análise de viabilidade econômica do motor de 15 cv.

Modelo	W22 Super Premium	W22 IR3 Premium
Preço médio do motor (R\$)	7.162,81	5.557,65
Investimento (R\$)	14.325,62	11.115,30
Potencial de economia (%)	6,31	5,6
Economia (kWh/ano)	8.952,56	7.945,04
VPL	10.088,21	10.408,26
Payback (anos)	3,27	2,86

Fonte: WEG (2021).

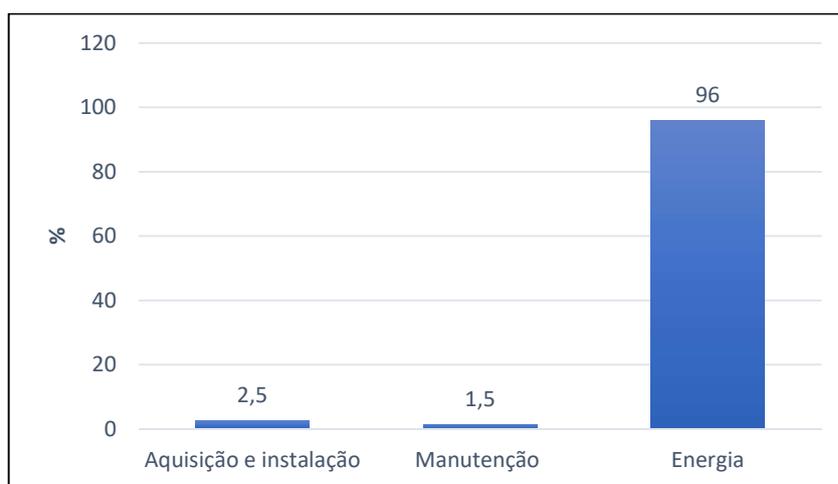
Aplicando a fórmula (13) e multiplicando pelas horas anuais de funcionamento, obtém-se a economia em kW por ano dos motores Super Premium. Os resultados ficaram próximos com os obtidos pelo software, conforme a equação (18) para o motor de 10 cv e a equação (19) para o motor de 15 cv.

$$kW_e = 10 \times 0,7465 \times 5628 \times \left(\frac{1}{0,86} - \frac{1}{0,927} \right) = 3530 \text{ kWh/ano} \quad (18)$$

$$kW_e = 15 \times 0,7465 \times 5628 \times \left(\frac{1}{0,87} - \frac{1}{0,931} \right) = 4746 \text{ kWh/ano} \quad (19)$$

Os valores de VPL foram todos positivos, indicando que há viabilidade em realizar as trocas. Já o valor do payback entre 2 e 4 anos, pode ser considerado um tempo alto para o retorno de um investimento, mas levando-se em conta que a economia de energia permanecerá após esse período, pode ser considerada uma boa oportunidade de investimento, tendo em vista que o valor da energia elétrica só tende a aumentar. Um estudo publicado na Revista Eletricidade Moderna de junho de 2008 concluiu que em um período de 10 anos, 96% do custo final de um motor será com energia elétrica, conforme Figura 34, o que mostra a importância da utilização de motores de alto rendimento.

Figura 34 - Custos de um motor em 10 anos.



Fonte: Adaptado de Reis (2018).

5.3 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Primeiramente foi realizado o estudo para saber se a empresa está enquadrada no melhor sistema de tarifação para o seu caso. Foram aplicadas as tarifas pertinentes a cada subgrupo e classe, conforme Quadro 19. Como a intenção é somente comparar os resultados, nos valores informados pela concessionária não inferem as taxas de PIS/PASEP e a taxa de zona rural. Esses valores consideram a bandeira verde como vigente no mês e estão em R\$/kWh para TUSD e TE e em R\$/kW para valores de demanda.

Quadro 19 - Tarifas vigentes RGE Sul.

Tarifas	TUSD P	TUSD FP	TE P	TE FP	DP	DFP	Ultrap. P	Ultrap. FP
Verde	0,907	0,085	0,435	0,259	22,87		45,74	
Azul	0,085	0,085	0,435	0,259	33,72	22,87	67,44	45,74

Fonte: RGE Sul (2021).

Aplicando os valores do Quadro (19) nos dados coletados de consumo e demanda para os meses estudados, obtemos os valores apresentados no Quadro 20. Todos os valores do quadro estão em reais.

As expressões utilizadas para os resultados do Quadro 20, são descritas abaixo, e foram utilizadas juntamente com os valores dos Quadros 9 e 10. Foram considerados para o horário fora de ponta a demanda contratada vigente de 160 kW e para o horário de ponta a demanda de 50 kW. Esse valor foi obtido levando-se em conta as máquinas que ficam operando quando é necessário exceder o horário normal de trabalho, que são as grampeadeiras os fulões de amaciamento.

Tarifa Horo Sazonal Verde

As expressões (20) e (21) apresentam os cálculos para os consumos em ponta e fora de ponta, onde para essa tarifa há diferenciação de valores.

$$\text{Consumo ponta (CP)} = (\text{TUSD P} + \text{TE P}) \times (\text{consumo ponta}) \quad (20)$$

$$\text{Consumo fora ponta (CFP)} = (\text{TUSD FP} + \text{TE FP}) \times (\text{consumo fora ponta}) \quad (21)$$

A expressão (22) apresenta o cálculo para o valor da demanda contratada, quando não ocorre multa por ultrapassagem de demanda.

$$\text{Demanda (D)} = (D_p) \times (\text{demanda contratada}) \quad (22)$$

Para os casos onde a demanda faturada ultrapassa 5% do valor da demanda contratada, o cálculo da demanda se dá conforme a expressão (23) e da multa por ultrapassagem de demanda conforme a expressão (24).

$$\text{Demanda (D)} = (D_p) \times (\text{demanda faturada}) \quad (23)$$

$$\text{Multa} = 2 \times (\text{Ultrap. P}) \times (\text{demanda faturada} - \text{demanda contratada}) \quad (24)$$

Tarifa Horo Sazonal Azul

As expressões de consumo são as mesmas da tarifa verde. Para os cálculos de demanda existe diferenciação entre o valor do kW nos horários de ponta e fora de ponta, conforme expressões (25) e (26).

$$\text{Demanda ponta (DP)} = (D_p) \times (\text{demanda contratada ponta}) \quad (25)$$

$$\text{Demanda fora de ponta (DFP)} = (D_{fp}) \times (\text{demanda contratada fora de ponta}) \quad (26)$$

Para os casos onde a demanda faturada ultrapassa 5% dos valores de demandas contratadas, os cálculos se dão conforme as expressões (27) e (28). Para a multa por ultrapassagem de demanda o cálculo segue conforme a expressão (29).

$$\text{Demanda ponta (DP)} = (D_p) \times (\text{demanda faturada ponta}) \quad (27)$$

$$\text{Demanda fora de ponta (DFP)} = (D_{fp}) \times (\text{demanda faturada fora de ponta}) \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{Multa} = & 2x(\text{Ultrap. P}) \times (\text{demanda faturada ponta} - \text{demanda contratada ponta}) \\ & + 2x(\text{Ultrap. FP}) \times (\text{demanda faturada fora ponta} \\ & - \text{demanda contratada fora ponta}) \end{aligned} \quad (29)$$

Quadro 20 - Comparação entre tarifas

MÊS	Verde					Azul					
	CP	CFP	D	Multa	Total	CP	CFP	DP	DFP	Multa	Total
JAN	672	7546	2744	-	10963	261	7546	1686	2744	-	12237
FEV	906	7721	3033	1153	11659	351	7721	1686	3033	1153	13943
MAR	730	7337	3057	1250	12374	283	7337	1686	3057	1250	13612
ABR	256	5545	2744	-	8546	99	5545	1686	2744	-	10075
MAI	199	4895	2744	-	7838	77	4895	1686	2744	-	9402
JUN	232	4077	2744	-	7054	90	4077	1686	2744	-	8597
JUL	2094	11064	3930	4743	21831	811	11064	1686	3930	4743	22235
AGO	4238	12573	3644	3597	24052	1642	12573	1686	3644	3597	23142
SET	3315	13064	3692	3792	23863	1284	13064	1686	3692	3792	23518
OUT	4188	14085	4128	5534	27935	1623	14085	1686	4128	5534	27055
NOV	3347	10971	3897	950	19165	1297	10971	1686	3897	950	18801
DEZ	4419	14812	4398	2955	26584	1712	14812	1686	4398	2955	25563
Total (R\$)	201.863					208.182					

Fonte: Autor (2021).

Os resultados indicam que a tarifa vigente, horo sazonal verde, é a mais adequada, resultando em uma economia 3% frente a tarifa horo sazonal azul. Considerando que o horário de trabalho da empresa não prevê o funcionamento após as 18 horas, a tarifa verde é a mais recomendada, devendo a empresa se organizar de modo que seu funcionamento no horário de pico seja esporádico.

5.3.1 Demanda e fator de carga

Após determinada a melhor opção tarifária, pode-se encontrar o valor ótimo para a demanda, que será obtido através de simulação de valores de demanda para os meses de julho a dezembro, pois a partir do segundo semestre de 2020 houve um incremento de carga. Partindo do valor atual contratado de 160 kW, tem-se que não haveria pagamento de multas se a demanda contratada fosse de 185 kW, mas o valor que resultaria no menor custo para esse período, mesmo com pagamento de multa, seria de 175 kW. A Quadro 21 apresenta os resultados simulados.

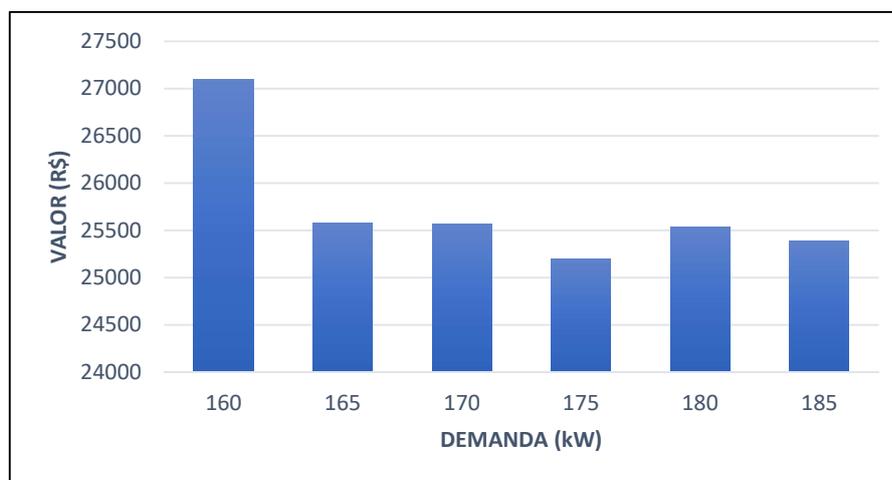
Quadro 21 - Resultados da simulação de demanda.

Demanda (kW)						
Mês	160	165	170	175	180	185
JUL	4472	3773	3887	4002	4116	4231
AGO	3659	3773	3887	4002	4116	4231
SET	3659	3773	3887	4002	4116	4231
OUT	5065	4836	4607	4002	4116	4231
NOV	4372	3773	3887	4002	4116	4231
DEZ	5875	5646	5417	5189	4960	4231
Total (R\$)	27.102	25.574	25.572	25.199	25.540	25.386

Fonte: Autor (2021).

O gráfico da Figura 35 ilustra os resultados obtidos no Quadro 21, onde o menor custo foi obtido para o valor de demanda de 175 kW. Se o valor de demanda contratada estivesse adequado no período, poderia haver uma economia de até 26% em relação ao que foi pago pela empresa.

Figura 35 - Comparação de demandas.



Fonte: Autor (2021).

Com os dados de consumo e demanda, foram calculados os fatores de carga mensais, conforme a expressão (6) do referencial teórico, conforme Quadro 22.

Quadro 22 - Fatores de carga mensais.

Mês	Consumo (kWh)	Demanda máxima (kW)	FC
JAN	22438	121	0,24
FEV	23120	132	0,23
MAR	21873	133	0,22
ABR	16311	108	0,20
MAI	14378	99	0,19
JUN	12025	106	0,15
JUL	33723	172	0,26
AGO	39708	159	0,33
SET	40446	161	0,33
OUT	44065	180	0,32
NOV	34386	170	0,27
DEZ	46352	192	0,31

Fonte: Autor (2021).

O valor típico, para indústrias de couro com potência instalada entre 100 e 300 kW, é de 0,21, o que não foi alcançado nos meses de abril, maio e junho. Os meses que apresentaram melhor fator de carga foram agosto, setembro e outubro, que foram os meses onde o consumo no horário de ponta teve um grande aumento, resultando em elevados valores na tarifa de energia elétrica pagos pela empresa.

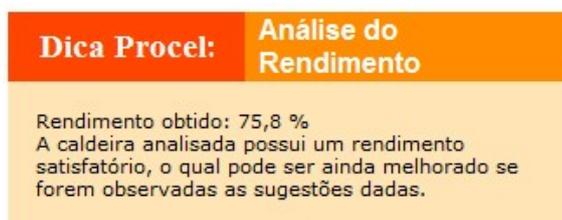
Para elevação do fator de carga deve-se elevar o consumo de kWh, observando-se a demanda de potência; otimizar a demanda de potência; ou ainda, atuar simultaneamente nos dois parâmetros.

A empresa deve considerar, por exemplo, não trabalhar com a rebaixadeira e a lixadeira ao mesmo tempo, visto que são as máquinas que possuem os maiores motores e que não são utilizadas durante todo o turno de trabalho.

5.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO

Os dados coletados foram inseridos no software Mark IV Plus disponibilizado pelo Procel, obtendo-se um resultado de 75,8% de eficiência, conforme Figura 36, que é considerado satisfatório.

Figura 36 - Análise do rendimento.



Fonte: Mark IV Plus (2021).

O software propõe uma série de sugestões para melhorar a eficiência do sistema, de acordo com os dados inseridos no programa, que serão listados e comentados.

Isolamento térmico: o isolamento térmico foi classificado como precário, devido a buracos existentes na base da caldeira, onde é possível observar o material de lã de vidro para fora do equipamento, e as cinzas que caem pelos buracos, conforme mostra a Figura 37, sendo necessário a recuperação desse isolamento térmico.

Figura 37 - Situação da caldeira.



Fonte: Autor (2021).

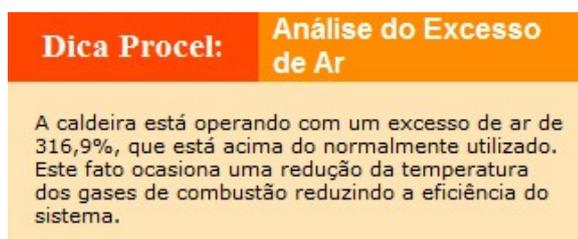
Tratamento de água: a utilização de uma água não adequada ocasiona em um maior consumo energético, pois a água pode conter resíduos minerais que após a evaporação da fase líquida, se depositam sobre a superfície metálica das caldeiras e tendem a criar maior resistência ao escoamento do calor. Com isso sugere-se que seja realizada análise da água utilizada. O programa sugere também que a purga deve ser realizada ao menos duas vezes ao dia.

Excesso de ar: a caldeira está operando com excesso de ar, isto ocasiona uma redução de temperatura dos gases de combustão reduzindo a eficiência do sistema. O excesso de ar deve ser sempre o menor possível, pois o ar além de oxigênio,

sempre traz consigo uma massa elevada de nitrogênio, que é um gás inerte com capacidade de diminuir a temperatura dos gases de combustão, resultando em uma perda de desempenho na utilização do calor do combustível.

O programa resultou em um excesso de 316% de excesso de ar, conforme Figura 38, enquanto a literatura diz que para pedaços grandes de madeira é necessário de 60 a 120% de excesso de ar para a queima.

Figura 38 - Análise do excesso de ar.



Fonte: Mark IV Plus (2021).

Quanto ao combustível utilizado, a lenha de eucalipto possui alta quantidade de fibras o que é favorável para o processo de combustão, sendo uma das árvores mais plantadas em áreas de reflorestamento devido possuir um crescimento rápido e uma grande plasticidade, permitindo grandes áreas de reflorestamento, e com isto um preço mais competitivo. O cuidado deve ficar quanto a umidade do combustível, devendo a lenha ser seca e utilizada com a menor umidade possível e com a geometria das toras, que quanto menor, mais uniforme será a queima.

5.5 POTENCIAIS DE ECONOMIA

O Quadro 23 apresenta a soma dos potenciais de economia para iluminação e cargas motrizes, considerando um motor Super Premium de 10 cv e dois de 15 cv. Para o cálculo monetário foi utilizado o valor do kWh cobrado no mês de dezembro de 2020.

Quadro 23 - Economias por sistema.

Sistema	Kwh	R\$	Payback
Iluminação	13.419	6.011,00	4 anos e 10 meses
Motor 10 cv	3.247	1.454,00	3 anos e 10 meses
Motor 15 cv	8.952	4.010,00	3 anos e 4 meses
Total	25.618	11.475,00	

Fonte: Autor (2021).

6 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou propostas de melhorias dentro de uma empresa da indústria coureiro-calçadista, com foco na eficiência energética. Seguindo os passos de um diagnóstico energético, foi realizado o levantamento dos dados e identificados os possíveis pontos de economia em energia. Foram analisados cinco sistemas dentro da empresa: a tarifa de energia elétrica, iluminação, cargas motrizes, fator de potência e aquecimento.

Na questão da tarifa de energia elétrica, foram simuladas as três tarifas existentes que a empresa está apta a contratar, onde concluiu-se que ela já utiliza a melhor opção tarifária para o seu caso, que é a tarifa horo sazonal verde. Diante disto, foi verificado qual o valor de demanda contratada proporcionaria os menores custos em energia elétrica, no qual identificou-se o valor de 175 kW, valor acima do contratado atualmente de 160 kW, onde seria obtido para um período de 6 meses, uma redução de 26% em relação ao valor que foi pago. A empresa deve estar ciente também que com utilização da tarifa verde, deve-se evitar ao máximo o consumo de energia elétrica no horário de ponta, entre 18h e 21h, devido ao alto custo cobrado no kWh deste período.

Na parte da iluminação, após o levantamento observou-se que níveis de iluminância estavam muito abaixo do que é indicado na norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013, o que acaba afetando a produção, pois causa fadiga, e conseqüentemente queda no rendimento dos trabalhadores, aumentando os riscos de acidentes. Diante disto foram propostas duas situações de melhorias, onde na primeira seriam instaladas mais lâmpadas iguais a existente, até que fossem obtidos os níveis de iluminância adequados. Na segunda, um novo layout com a utilização de luminárias LED mais eficientes, e com maior durabilidade. Diante destas propostas foi concluído que no segundo caso seria possível economizar 13.419 kWh ao ano, obtendo-se o retorno do investimento em aproximadamente 4 anos e 10 meses.

Com a realização do levantamento dos motores, foi verificado que eles se encontram na faixa adequada de carregamento, acima de 75%. O estudo de implantação de motores de alto rendimento, em substituição aos motores que permanecem mais tempo em funcionamento, resultou em economias de até 8.952 kWh de consumo de energia elétrica, para um dos modelos estudados, com um payback de no máximo quatro anos, que apesar de ser considerado um tempo elevado

como tempo de retorno para investimentos, a longo prazo irá proporcionar significativa economia de energia, frente aos recorrentes aumentos nas tarifas de energia elétrica. Pensando na vida útil dos motores da empresa, observa-se que os motores que estão expostos a grande quantidade de pó e poeira devem ser limpos regularmente, de forma que se evite curto circuitos e sobreaquecimentos dos motores. Também para os motores que estão instalados em locais protegidos, deve-se tomar o cuidado de manter os locais sempre fechados, de forma que o pó não entre por frestas, assim como nos quadros de proteção e comando.

No estudo de correção de fator de potência, concluiu-se através do levantamento das faturas de energia elétrica, que o banco de capacitores existente no local já não está atendendo ao consumo da empresa, gerando no ano estudado, multa de 1% do valor total pago em energia elétrica, não sendo um ponto de prioridade imediata, visto que a empresa pretende instalar novas máquinas no primeiro semestre de 2021.

Os resultados do sistema de aquecimento, mostram que a caldeira analisada possui um rendimento térmico de 75,8%, que está no limite do valor considerado adequado, que é acima de 75%. Esse valor é atribuído ao excesso de ar na queima do combustível, que diminui a temperatura dos gases de combustão, diminuindo a capacidade de transferência de calor para a água da caldeira. Com o baixo rendimento térmico é necessário um consumo maior de combustível, o que aumenta os custos para a produção de vapor. Portanto, para tornar o processo de queima de combustível o mais eficiente possível é necessário que sejam realizadas manutenções regulares na caldeira e também o controle de gases como oxigênio e monóxido de carbono.

Com o presente estudo conclui-se que existem potenciais pontos de economia de energia, conforme foram apresentados. O trabalho possibilitou a oportunidade de agregar novos conhecimentos na área de eficiência energética, de se ter o contato direto com a empresa e com os desafios encontrados para a implantação de projetos de eficiência energética, que é uma área com enorme potencial de melhorias. Espera-se que as medidas sugeridas no trabalho possam ser implementadas pela empresa, resultando na redução de custos e gerando maior competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; **Resolução Normativa nº 414**, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>. Acesso em: 12/05/2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; **Resolução Normativa nº 569**, de 23 de julho de 2013a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013569.pdf>. Acesso em: 12/05/2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE: Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados**. 2013b.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; **Bandeiras Tarifárias**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 12/05/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1:2013: **Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17094-3 – **Máquinas Elétricas Girantes Parte 3: Motores de Indução Trifásicos – Métodos de ensaio** – Rio de Janeiro, 2018.

BUECKER, B. **Basics of Boiler and HRSG Design**. Oklahoma: Penn Well Corporation, 2002.

CASAROTTO, N. et al. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. São Paulo: Atlas: 2008.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2 ed. São Paulo: 2015.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

COTRIM, A. **Instalações Elétricas**. 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2009.

DIAL. **DIALux evo 9.0**. Lüdenscheid, 2020. Disponível em < <https://www.dial.de/en/dialux/>>. Acesso em 15/03/2021.

ELETROBRAS; PROCEL. **Guia de Medição e Verificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ELETROBRAS ET AL. **Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético**: guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Brasília, 2020a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 12/05/ 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; **Plano Nacional de Expansão de Energia 2029**. Brasília, 2020b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 17/04/ 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; **Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência Energética**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 12/05/2020.

EVO – Efficiency Valuation Organization. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance**: conceitos e opções para a determinação de economias de energia e de água. Toronto: EVO, 2012.

GASPAR, C. **Eficiência Energética na Indústria**: Curso de Utilização Racional de Energia. Gaia, Portugal. 2004.

INTRAL. **Linha de Produtos**. Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/>. Acesso em 15/03/2021.

KENNEY, W. F., **Energy Conservation in the Process Industries**. Academic Press, Orlando, 1984.

MAMEDE F., J. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 12/05/2020.

MARQUES, M. C. S. et al. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. 1. ed. Eletrobrás / PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / Fupai, Itajubá, 2007.

MORAIS, F. J. **Estratégias de redução do consumo de energia elétrica da empresa X visando alternativas mais eficientes para a redução do custo**. Monografia de Conclusão do Curso de Gestão da Produção - Feevale, Novo Hamburgo, 2012.

NADEL, S. et al. **Energy-Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program on Policy Opportunities**. 2. ed. ACE: Washington, 2002.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Eletrobrás. Rio de Janeiro, 2005.

NR 13 – Norma Regulamentadora 13. **Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento**. Brasília, 2018.

PÊRA, H. **Geradores de Vapor**. São Paulo: Ed. Fama, 1990.

PROCEL. **Lei de Eficiência Energética**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.PROCELinfo.com.br/resultadosPROCEL2014/lei.pdf>. Acesso em: 12/05/2020.

PROCEL. **PROCEL Indústria: Eficiência Energética Industrial**. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID5758021DEDA0411490D62106E1491EBEPTBRIE.htm>. Acesso em: 12/05/2020.

REIS, J. **Os motores de baixa tensão de alto rendimento no Brasil**. Revista Eletricidade Moderna, Editora Aranda: São Paulo, 2018.

REVISTA O SETOR ELÉTRICO. **Eficiência Energética na indústria**. Capítulo XI. São Paulo: Atitude Editorial, 2013.

SAIDEL, M. A. **A gestão de energia elétrica na USP**: o programa permanente para o uso eficiente de energia elétrica. Tese apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente. Área de concentração: Energia Elétrica. São Paulo, 2005.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de Energia**: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. 3. ed. Eletrobrás / PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / Fupai, Itajubá, 2006.

SEBRAE. **Indicações Geográficas – Vale do Sinos**. 2018. Disponível em <<https://datasebrae.com.br/ig-vale-dos-sinos/#inicio>>. Acesso em 13/04/2020.

SEPLAG/RS. **PIB do Rio Grande do Sul cresce 2% em 2019**. Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/pib-do-rio-grande-do-sul-cresce-2-em-2019>. Acesso em 13/04/2020.

SOUZA, A.; CLEMENTE A. **Decisões financeiras e análises de investimentos**: fundamentos, técnicas e aplicações. Atlas: São Paulo, 2006.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Energética**: Fundamentos e Aplicações. 1. ed. Campinas: Elektro, 2012.

WEG. **Simulador See+**. 2021. Disponível em: <www.weg.net/see+>. Acesso em 25/03/2021.