

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
USP

GUSTAVO ZANUNI

Estudo de Caso: Projeto de Viabilidade técnica e Econômica de Eficiência
Energética em uma Indústria de peças de fibra de vidro

São Paulo

2022

GUSTAVO ZANUNI

Estudo de Caso: Projeto de Viabilidade técnica e Econômica de Eficiência Energética em uma Indústria de peças de fibra de vidro

Trabalho de Conclusão do Curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Energia Solar Fotovoltaica e Eficiência Energética

Orientador: Prof. Msc. Eduardo Seiji Yamada.

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Zanuni, Gustavo

Estudo de Caso: Projeto de Viabilidade técnica e Econômica de Eficiência Energética em uma Indústria de peças de fibra de vidro / G.

Zanuni -- São Paulo, 2022.

69 p.

Monografia (Especialização em) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Eficiência Energética 2.Peça fibra de vidro 3.Sistema fotovoltaico 4.Ar comprimido 5.Estudo de caso I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Dedico esse trabalho a minha família,
pelo apoio irrestrito, suporte e inspiração.

RESUMO

Nesse trabalho foi desenvolvido um estudo de caso sobre a implantação de quatro estratégias referentes à eficiência energética em uma indústria de peças de fibra de vidro: alteração da tarifa horo-sazonal, *retrofit* do sistema de iluminação, substituição do compressor de ar e instalação de uma usina fotovoltaica, desde a etapa de diagnóstico energético, desenvolvimento de proposições, medição e análise do cenário atual em comparativo com os propostos. Projetos que envolvem eficiência energética dentro de empreendimentos industriais levam a redução nos consumos energéticos, com o mesmo desempenho atual. Já os sistemas fotovoltaicos representam autonomia, redução no preço da energia e uma conscientização ambiental, que se torna cada vez mais um diferencial no mercado industrial, que é extremamente competitivo. Além disso, esses sistemas de geração distribuída são relacionados ao aumento da demanda energética mundial. Os projetos de eficiência estudados no âmbito acadêmico proporcionam o desenvolvimento de novas tecnologias, além do fomento de projetos incentivados pelas políticas dos governos aumentando a competitividade também das economias dos países envolvidos e cumprimento das metas estipuladas internacionalmente. O empreendimento analisado nesse projeto foi uma indústria de componentes de fibra de vidro localizado no estado de São Paulo. Sua produção atualmente é voltada diretamente para o abastecimento da principal planta do grupo. O diagnóstico energético mostrou diversas oportunidades de redução de custos. A atualização do sistema de iluminação para lâmpadas mais modernas, LED; a troca pelo compressor de tecnologia carga e alívio para um modelo mais moderno baseado na variação de frequência; a análise para modificação da tarifa horo-sazonal azul pela verde, alinhada mais ao perfil de consumo da empresa; e a implantação de um sistema fotovoltaico com capacidade de geração de aproximadamente 631 MWh/ano – redução de 40% de todo o seu consumo. A análise dos cenários antes e depois mostram uma redução de cerca de 72,7% do todo o custo da empresa com energia elétrica, que, apesar de possuir um *Payback* que pode ser considerado alto (32 meses) e alto investimento, esse pode ser distribuído ao longo dos meses e se tornar bastante atrativo. De forma geral a solução com a implantação de todas as estratégias apresentou uma viabilidade econômica bastante atrativo, por se

tratar de uma indústria privada e com interesses na redução de custos – como a maioria das empresas. Os retornos mais imediatos foram através da estratégia da tarifa e iluminação, principalmente pelos seus baixos investimentos. Entretanto as demais são importantes também, como o compressor que representa cerca de 30% do consumo total, e o fotovoltaico que reduzirá 40% do custo da conta de energia.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Iluminação. Compressor de ar. Sistemas Fotovoltaicos. Tarifação de energia elétrica.

ABSTRACT

In this work, a case study was developed on the implementation of four strategies related to energy efficiency in an industry of fiberglass parts: change in the hourly-seasonal tariff, retrofit of the lighting system, replacement of the air compressor and installation of a photovoltaic plant, from the stage of energy diagnosis, development of proposals, measurement and analysis of the current scenario in comparison with the proposed ones. Projects involving energy efficiency within industrial enterprises lead to a reduction in energy consumption, with the same current performance. On the other hand, photovoltaic systems represent autonomy, reduction in energy prices and environmental awareness, which is increasingly becoming a differential in the industrial market, which is extremely competitive. In addition, these distributed generation systems are related to the increase in world energy demand. The efficiency projects studied in the academic scope provide the development of new technologies, in addition to the promotion of projects encouraged by government policies, also increasing the competitiveness of the economies of the countries involved and the fulfillment of internationally stipulated goals. The enterprise analyzed in this project was an industry of fiberglass components located in the state of São Paulo. Its production is currently aimed directly at supplying the group's main plant. The energy diagnosis showed several opportunities for cost reduction. The upgrade of the lighting system to more modern lamps, LED; switching from the load and relief technology compressor to a more modern model based on frequency variation; the analysis to change the blue hourly-seasonal tariff to the green one, more in line with the company's consumption profile; and the implementation of a photovoltaic system with a generation capacity of approximately 631 MWh/year – a 40% reduction in all consumption. The analysis of the scenarios before and after shows a reduction of about 72,7% of the entire cost of the company with electricity, which, despite having a Payback that can be considered high (32 months) and high investment, this can be distributed to the over the months and become quite attractive. In general, the solution with the implementation of all strategies presented a very attractive economic viability, as it is a private industry and with interests in cost reduction - like most companies. The most immediate returns were through the tariff and lighting strategy, mainly due to its low investments. However, the

others are also important, such as the compressor, which represents about 30% of total consumption, and the photovoltaic system, which will reduce the cost of the energy bill by 40%.

Keywords: Energy Efficiency. Lighting. Air compressor. Photovoltaic Systems. Electricity pricing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Selo Verde – PROCEL.....	19
Figura 1.2 - Selo Verde Stewardship Council.....	19
Figura 1.3 - Selo Verde – IBD	19
Figura 1.4 - Distribuição da Oferta de Energia no Brasil, em 2021	23
Figura 2.1 - Distribuição setorial no consumo de eletricidade	24
Figura 2.2 - Variação percentual do consumo por setor durante o ano de 2020.....	24
Figura 2.3 - Sistema fotovoltaico on-grid.....	26
Figura 2.4 - Sistema fotovoltaico off-grid.....	27
Figura 2.5 - Painel fotovoltaico	28
Figura 2.6 - Inversores (a) único e (b) multi-string.....	29
Figura 2.7 - Classificação dos compressores de ar.....	30
Figura 2.8 - Gráfico de seleção de compressores.....	31
Figura 2.9 - Componentes do compressor a parafuso	32
Figura 2.10 - Etapas de compressão	33
Figura 2.11 - Comparativo entre modelos de compressor	34
Figura 2.12 - Curva fotométrica.....	36
Figura 2.13 - Valores aplicados na Tarifa Verde	39
Figura 2.14 - Valores aplicados na Tarifa Azul.....	39
Figura 3.1 - Exemplo de remota utilizando para coleta de dados.....	41
Figura 3.2 - Perfil de consumo observado no empreendimento	41
Figura 3.3 - Perfil de consumo do compressor de ar.....	42
Figura 3.4 - Perfil de demanda por ar comprimido	43

Figura 3.5 - Perfil de demanda da indústria.....	43
Figura 3.6 - Modelo de lâmpada LED utilizada no retrofit	45
Figura 3.7 - Placa solar selecionada	51
Figura 3.8 - Inversor escolhido	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo percentual de eletricidade por setor	25
Tabela 2.2 - Caracterização dos grupos tarifários	37
Tabela 3.1 - Características do modelo.....	45
Tabela 3.2 - Premissas do sistema de iluminação	46
Tabela 3.3 - Dados comparativos dos compressores	48
Tabela 3.4 - Informação sobre consumos da planta fabril.....	48
Tabela 3.5 - Dados climatológicos da região.....	49
Tabela 3.6 - Irradiação média mensal (kW/m ² .dia).....	49
Tabela 3.7 - Dados da placa fotovoltaica	51
Tabela 3.8 - Dados do inversor	52
Tabela 3.9 - Dimensionamento dos arranjos.....	53
Tabela 3.10 - Parâmetros a serem atendidos do inversor.....	53
Tabela 3.11 - Investimento para implantação do sistema fotovoltaico	544
Tabela 3.12 - Comparativo entre os contratos de energia	54
Tabela 3.13 - Cálculo da economia obtida	555
Tabela 3.14 - Cálculo da viabilidade da solução com retrofit do sistema de iluminação	566
Tabela 3.15 - Cálculo da viabilidade da solução com troca do compressor de ar.....	56
Tabela 3.16 - Cálculo da viabilidade da solução com troca do compressor de ar.....	577
Tabela 3.17 - Cálculo da viabilidade da usina fotovoltaica.....	57
Tabela 3.18 - Comparativo dos custos e retorno com a troca de tarifa horo-sazonal ..	588
Tabela 3.19 - Análise das estratégias utilizadas	58
Tabela 3.20 - Sequência proposto de investimentos.....	59

LISTA DE ABREATURAS E SIGLAS

ACEEE	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Cdted	telureto de cádmio
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FREL	<i>Forest Reference Emission Levels</i>
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
HH	Hora-Homem
IBD	Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
kWh	Kilowatt-Hora
kV	kilo-Volt
kWp	Kilowatt-Pico
LED	Light Emitting Diode
MCE	Mercado Cativo de Energia
MLE	Mercado Livre de Energia
MPTT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>

MWh	Megawatt-Hora
OIE	Oferta Interna de Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNE	Plano Nacional de Energia
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
TE	Tarifa de Energia
tep	tonelada equivalente de petróleo
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
Wp	Watt-Pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Eficiência Energética na Indústria	18
1.2	Processo de Fabricação de Peças de Fibras de Vidro	20
1.3	Sistema de Iluminação Artificial	21
1.4	Sistema de ar comprimido	21
1.5	Energia no Brasil	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Eficiência Energética em Empreendimentos	23
2.2	Sistemas de Geração de energia fotovoltaica	25
2.2.1	Sistema On-grid	26
2.2.2	Sistema Off-grid	26
2.2.3	Módulo fotovoltaico	27
2.2.4	Inversores	28
2.3	Peças de Fibra de Vidro na Indústria	29
2.4	Tipos de compressores de ar Industriais	30
2.4.1	Compressores a Parafuso rotativo com Velocidade fixa	31
2.4.2	Compressores com Variação de Velocidade	34
2.5	Sistema de Iluminação aplicada e seus componentes	35
2.6	Tarifas Horo-sazonais na Indústria	37
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	39
3.1	Objetivo e Escopo do projeto	39
3.2	Parque fabril industrial – Cenário base	40
3.2.1	Levantamento do consumo energético da instalação	40

3.2.2	Resultados pretendidos	43
3.3	Estratégias de eficiência energética	44
3.3.1	<i>Retrofit</i> no sistema de iluminação	45
3.3.2	Substituição de compressores de ar	48
3.3.3	Estudo de implantação de usina fotovoltaica	48
3.3.4	Alteração de tarifa horo-sazonal	54
3.4	Análise de viabilidade econômicas das estratégias	55
3.4.1	Iluminação	55
3.4.2	Compressor de ar	56
3.4.3	Usina fotovoltaica	57
3.4.4	Tarifa horo-sazonal	58
3.5	Resultados obtidos	58
4	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DOS INVESTIMENTOS E RETORNOS OBTIDOS	67

1 INTRODUÇÃO

Entende-se como Eficiência Energética o uso consciente e racional dos recursos energéticos, como energia, água e outros, com a finalidade de produção com a menor energia possível. Ela pode ser abordada de duas maneiras distintas: econômica (redução de custos e posterior preços mais baratos dos produtos), e ambiental (baseia-se na redução nos usos de matrizes energéticas, com diminuição dos impactos ambientais e resíduos gerados).

Com o aumento da preocupação com efeitos causados pela humanidade ao mundo, as mudanças climáticas são discutidas desde a década de 80 – no Protocolo de Montreal, 1987). Os estudos feitos pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), mostram um crescimento na emissão de gases do efeito estufa (GEE) oriundos principalmente pelo uso de combustíveis fósseis e aumento das áreas destinadas à agricultura, além da perda nos ecossistemas e biodiversidade (IPCC, 2019). Esse crescimento é bastante preocupante, mantendo-se 1,7° C até o final desse século. Em um cenário mais pessimista, esse aumento pode variar dentro de 2,6° C e 4,8° C (MARCOVITCH, 2010).

Diante desses dados, é evidente a necessidade de redução da temperatura mundial, com relação aos GEE. O IPCC aponta manter abaixo de 2°C no aumento da temperatura global (IPCC, 2018). O não cumprimento dessa meta, a flora e fauna sofrerão extinção na média de 15%, o planeta terá o derretimento de calotas do ártico, aumento do nível do mar, além do aumento da temperatura e diminuição das áreas agrícolas até 2050 (Assad *et al.*, 2017).

O Protocolo de Kyoto de 1997, gerou as metas até o ano de 2020 a serem buscadas pelos países participantes. Esses países deveriam gerar um planejamento estratégico para parametrização florestais e suas emissões (FREL). O último acordo mundial foi pelo Acordo Climático de Paris de 2015, que estabeleceu a meta de conter o aquecimento global até 2° C e remoção de 100 a 1000 Gt de CO₂ da atmosfera no século XXI (IPCC,

2018). Assim, torna-se o foco mundial o controle da emissão dos gases poluentes e preservação dos recursos naturais (GOLDEMBERG e LUCON, 2012; COYLE e SIMMONS, 2014; REL *et al.*, 2017).

As diversas tecnologias estão em desenvolvimento com foco na preocupação relativa às mudanças climáticas e aquecimento global, relacionado diretamente ao uso de combustíveis fósseis (Verkujil, 2018).

O crescimento populacional e aumento do padrão de vida levam ao uso cada vez maior das fontes de energia. Até 2050, é esperado o aumento da população global a cerca de 30% (UNITED NATIONS, 2014) e uso de energia é previsto o aumento de 48% no mesmo período, de acordo com o Departamento de Administração de Informações Energéticas. Por isso é necessário a diversificação das fontes energéticas, principalmente por escolha das renováveis.

Em reunião bianual, o *American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE, 2020), ocorrida em junho de 2020 destacou as principais ações de eficiência energética de 25 países quanto ao uso de energia. A posição final do Brasil foi 22ª posição, mostrando que é possível aumentar a gestão de energia no país e cumprir as metas de redução na emissão de gases poluentes. A eficiência energética está na utilização de equipamentos e processos que reduzem o uso de energia elétrica para produção de bens e serviços, sem que prejudique a sua qualidade (PROCEL, 2019). Assim, todo e qualquer equipamento que utilize energia elétrica, quanto menor a perda, maior será sua eficiência.

Diante desse cenário, a motivação para o desenvolvimento desse trabalho é a aplicação da metodologia da eficiência energética na busca por novos recursos energéticos, principalmente com a crise do petróleo na década de 1970, o que gerou uma disparada nos preços dos combustíveis baseados em origem fóssil. Essa crise estimulou os estudos de novas fontes, com seu uso otimizado (Jenne, et al., 1983). Além disso, o novo foco dos grandes empreendimentos na sustentabilidade e também da redução dos custos de produção.

A Estrutura do trabalho segue apresentando no capítulo 1 o cenário da Eficiência Energética nas indústrias do Brasil, como também o processo de fabricação das peças de fibra de vidro – produto produzido pelo empreendimento. Ainda, apresenta o conceito dos principais custos dentro da planta analisada e suas estruturas dentro das possíveis estratégias de redução.

O capítulo 2 foca no consumo de energia no Brasil como um todo e sua parcela voltada as indústrias em geral. Após, mostra as estruturas de funcionamento e detalhes de seus componentes do sistema fotovoltaico, iluminação, compressores de ar e a tarifação de energia elétrica.

No capítulo 3 é definido o escopo do projeto, como todo o levantamento de dados desses consumidores, possíveis ações, além da análise desses resultados e listadas a estruturação das estratégias a serem seguidas. No fechamento, é calculado a viabilidade de cada uma dessas ações e retornos e resultados obtidos.

No fechamento do trabalho, é feita a conclusão dos resultados, retorno de todo o projeto desenvolvido e estruturado uma escolha de forma de implantação das estratégias sem que as mesmas resultem em um impacto grande nas receitas do empreendimento

1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

O governo brasileiro constituiu a Lei n.º 10.295/2001, conhecida com a Lei de Eficiência Energética, que apresenta a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa política abrange as indústrias como um todo, não só na busca de operações autossuficientes e econômicas, como a busca de Certificações Ambientais e o “Selo Verde”, que tem como função avaliar a produção de tal produto no âmbito ambiental. O selo diferencia e valoriza as empresas que buscam a eficiência em seus processos. Os exemplos de selos que podem ser obtidos pelas empresas é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Figura 1.1); *Forest Stewardship Council* (Figura 1.2); e o Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural (Figura 1.3).

Figura 1.1 - Selo Verde - PROCEL



Fonte: www.procelinfo.com.br

Figura 1.1 - Selo Verde Stewardship Council



Fonte: www.fsc.org

Figura 1.2 - Selo Verde – IBD



Fonte: www.ibd.com.br

O selo PROCEL, criado em 1993, é conferido anualmente para equipamentos que possuam eficiência energética, classificando-os em categorias, que são gerados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

O Plano Nacional de Energia (PNE, 2007), define a meta de economia de 10% no consumo de energia elétrica através do desenvolvimento de projetos eficiência energética. O PNE define as metas de eficiência, estimula novos estudos e desenvolvimento de indicadores com as informações fornecidas e analisar o impacto das políticas do assunto.

A Eficiência energética é considerada de alta importância pelos empreendimentos no mundo, principalmente em países desenvolvidos. Essa política é justificada pelo impacto não só ambiental, mas também pela competitividade na indústria e retorno financeiro (PATTERSON, 1996).

1.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE FIBRAS DE VIDRO

O surgimento do plástico desenvolveu diversas facilidades e seu uso crescente o tornou um produto essencial. Como os primeiros plásticos desenvolvidos eram muito frágeis, foi desenvolvido, entre outras, a introdução de fibras de vidro na composição, tornando-os mais resistentes a tração, flexão e choques (GARCIA, 2009).

O composto chamado de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV) são gerados a partir da mistura de uma resina, como poliéster, o reforço (fibra de vidro) e um catalisador de polimerização. Os compostos gerados são bastante versáteis, podendo ser utilizados em piscinas, cascos de barcos, carroceria de veículos e outros.

O PRFV pode ser obtido através de dois processos de moldagem: aberta e fechada. No primeiro, é desenvolvido apenas um molde da peça a ser criado; e no segundo é utilizado dois moldes – macho e fêmea - que, em conjunto, formam a peça (PINTO, 2002). A modelagem aberta, feita através de uma pistola spray, é um dos mais utilizados devido sua fácil aplicação e não necessita de tanta tecnologia envolvida e mão de obra técnica.

Levando em consideração o modo de fabricação aberta, o início da fabricação é feito através da aplicação de desmoldante sobre o módulo, que geralmente é uma cera composta e semipermanentes (ALMACO, s.d.). Depois, é aplicado ao molde o *gelcoat*, como as resinas isoftálicas com álcool neopentilglicol (NPG), que forma uma proteção contra a água à peça. (NASSEH, 2011).

Em seguida, é feita a laminação através da passagem de resina e filamentos de fibra de vidro sobrepostos. Nesse processo é definido a espessura da peça através da alternância na colocação de fibra e resina, conforme maior serão os esforços sobre a peça. Por fim, após a cura das camadas de laminação, é feita a desmoldagem e retirada

as rebarbas, e a borda é preparada para união aos demais componentes (ALMACO, s.d.).

É considerado que todo o consumo da produção do empreendimento representa cerca de 80% do custo com energia elétrica, o que mostra que se faz necessário a observação desse cenário.

1.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A iluminação artificial facilitou a humanidade para a execução das diversas tarefas visuais, independente do horário e ambiente. Em substituição a vela e outras fontes de luz, a iluminação através da energia elétrica possibilitou a geração de ambientes mais produtivos. No âmbito industrial, os funcionários são submetidos a esforços durante o trabalho, por isso a iluminação deve ser adequadamente projetada, de acordo com cada atividade a ser desenvolvida.

Esse tipo de fonte é utilizado para melhoria na qualidade da iluminação interna de empreendimentos, tanto em período noturno ou como complemento a luz natural. Edificações não conseguem entregar a demanda toda solicitada com fonte natural (Vianna e Gonçalves, 2011). O projeto do sistema de artificial é projetado para complementar à energia solar. Mas esse sistema no todo deve entregar a iluminância no mesmo nível em cada uma das posições do local. Essa luminância não é definido somente pela atividade visual, mas também pela sensação subjetiva no ajuste de contraste (Hopkinson, 1975).

1.4 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

O ar comprimido, composto por Nitrogênio, Oxigênio e outros gases, é o ar condensado que armazenou energia, e quando liberada a pressão e se expande, ocorre resfriamento (SILVA, 2002). O mesmo é utilizado largamente em diferentes indústrias, como de alimentos, móveis, automotivas, etc. Esse gás possui as seguintes propriedades:

- a) Compressibilidade: capacidade de aumento de pressão com redução de seu volume. Isso se torna importante principalmente para usos em pneumática, por

utilizar a conversão da energia contida no ar comprimido para uso em componentes pneumáticos (FIALHO, 2004);

- b) Elasticidade: é a propriedade do gás retornar ao seu volume inicial quando a força de compressão for interrompida;

O ar comprimido é utilizado amplamente nas diversas indústrias existentes como forma de fonte de energia em seus processos que necessitam de força e movimento através do seu deslocamento. O gás é muito eficiente, além de proporcionar uma melhor segurança no trabalho em relação a outras fontes. A partir do desenvolvimento das indústrias automotivas no Brasil, o uso do ar comprimido foi amplamente utilizado. Isso porque o ar comprimido possibilitou a produção repetitiva e segura dos componentes (FIALHO, 2004).

O bom funcionamento do sistema de ar comprimido vem principalmente da definição do melhor compressor a ser utilizado, a partir da pressão e vazão que os equipamentos requerem. Esse componente é responsável por comprimir o ar externo a uma pressão específica durante sua operação, o que faz o mesmo acumular energia (CORADI, 2011).

A rede de distribuição inicia-se na saída do compressor e entrada dos secadores do ar e posterior disseminação nos pontos requisitantes. Por isso, é importante definir os pontos de distribuição e derivações na rota mais eficiente para redução de perdas e custos (CORADI, 2011).

1.5 ENERGIA NO BRASIL

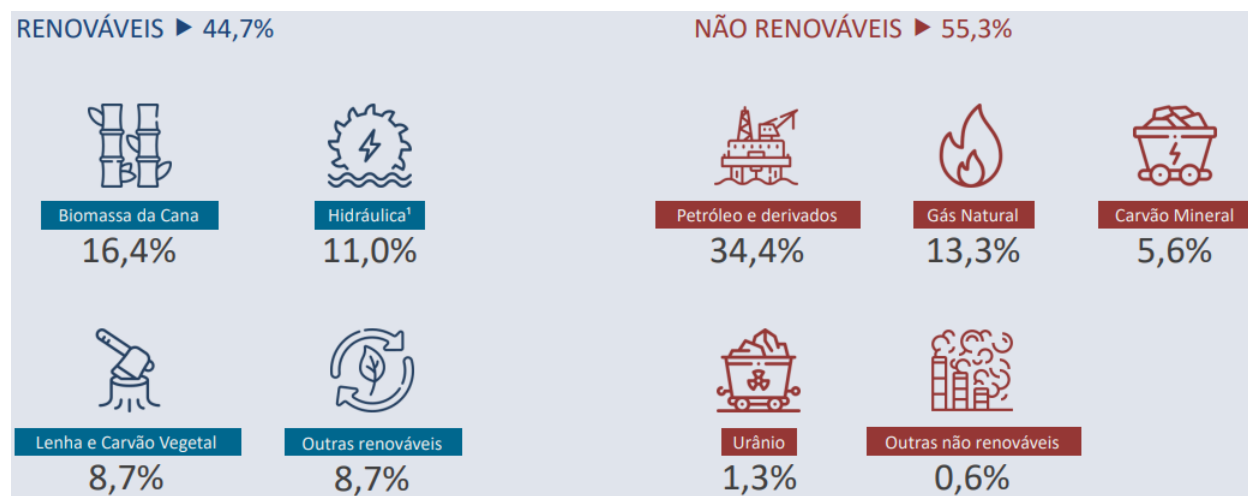
Segundo o Relatório Síntese de 2022, que inclui o Balanço Energético Nacional (BEN), desenvolvido pelo EPE – Empresa de Pesquisa Energética, a oferta interna de energia registrou um aumento de 3,5% em relação ao ano anterior. Para as fontes eólicas, solar e biodiesel garantiram que a matriz do país ficasse a um patamar de 44,7%, muito superior ao observado ao redor do mundo.

No universo das indústrias, o consumo de energia teve um acréscimo de 3 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) em valores absolutos. Exceto as empresas de

Alimentos e Bebidas, todos os demais registraram um aumento no consumo energético em 2021.

A distribuição da Oferta Interna de Energia (OIE) em 2021 pode ser representada nos grupos de fontes renováveis e não renováveis, representada na Figura 1.4.

Figura 1.3 - Distribuição da Oferta de Energia no Brasil, em 2021



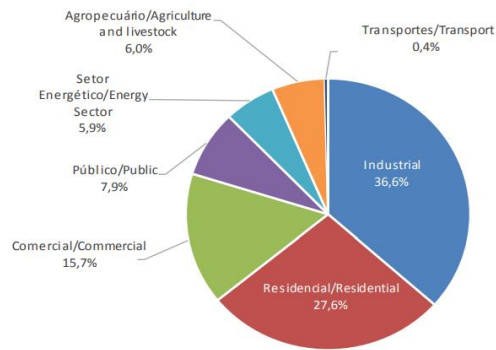
Fonte: EPE (2022)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMPREENDIMENTOS

A matriz energética brasileira relacionada à utilização de eletricidade é dominada pelas indústrias, com cerca de 37%, seguida pelo uso residencial com aproximadamente 28%. A Figura 2.1 ilustra essas informações.

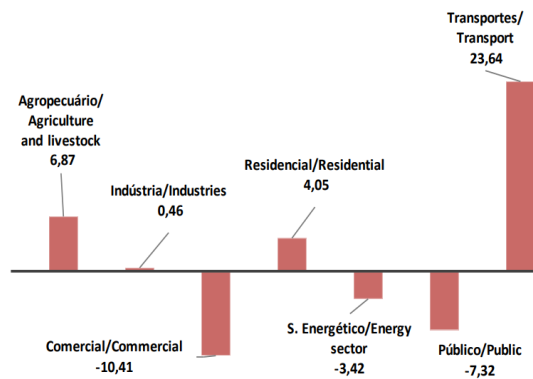
Figura 2.1 - Distribuição setorial no consumo de eletricidade



Fonte: EPE (2022)

Esse cenário de 2021, apresentado pelo BEN demonstra os efeitos pela pandemia de 2020, que impactou diversos setores da economia. Entretanto, os consumos industriais foram pouco afetados a pandemia. A Figura 2.2 mostra as variações dos diversos setores. É possível notar que a indústria teve um ligeiro aumento de 0,46% do seu consumo.

Figura 2.2 - Variação percentual do consumo por setor durante o ano de 2020



Fonte: EPE (2021)

Esse crescimento deve-se unicamente pelas indústrias de alimentos, relacionado também pelo aumento da produção de açúcar – 41% - comparado com o mês anterior.

Analisando os dados listados na Tabela 2.1, exclusivamente para a indústria metalúrgica, nota-se uma redução percentual desde o ano de 2011 até 2020. Dentro do cenário industrial, esse tipo de empreendimento ocupa o 6º lugar no total das indústrias.

Tabela 2.1 - Consumo percentual de eletricidade por setor

IDENTIFICAÇÃO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	IDENTIFICATION
CONSUMO FINAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	FINAL CONSUMPTION
CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO	6,9	6,7	6,3	6,0	5,8	5,8	5,8	5,5	5,5	4,9	FINAL NON-ENERGY CONSUMPTION
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	93,1	93,3	93,7	94,0	94,2	94,2	94,2	94,5	94,5	95,1	FINAL ENERGY CONSUMPTION
SETOR ENERGÉTICO	9,0	9,1	10,1	10,4	10,7	10,3	10,0	11,1	11,4	11,2	ENERGY SECTOR
RESIDENCIAL	9,5	9,4	9,1	9,4	9,6	9,8	9,8	10,3	10,3	10,8	RESIDENTIAL
COMERCIAL	2,9	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,1	COMMERCIAL
PÚBLICO	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	PUBLIC
AGROPECUÁRIO	4,1	4,1	4,1	4,2	4,4	4,4	4,7	4,8	4,9	5,1	AGRICULTURE AND LIVESTOCK
TRANSPORTES - TOTAL	30,1	31,3	32,0	32,5	32,3	32,2	32,0	31,9	32,6	31,2	TRANSPORTATION - TOTAL
RODOVIÁRIO	27,6	28,8	29,6	30,1	30,0	30,0	29,8	29,6	30,4	29,5	HIGHWAYS
FERROVIÁRIO	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	RAILROADS
AÉREO	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	0,8	AIRWAYS
HIDROVIÁRIO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	WATERWAYS
INDUSTRIAL - TOTAL	36,0	35,0	33,8	32,8	32,4	32,7	32,7	31,4	30,3	32,1	INDUSTRIAL - TOTAL
CIMENTO	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,6	CEMENT
FERRO-GUSA E AÇO	7,1	6,8	6,4	6,2	6,4	5,9	6,4	6,6	6,1	6,0	PIG-IRON AND STEEL
FERRO-LIGAS	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	IRON-ALLOYS
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	1,1	0,9	0,8	MINING/PELLETIZATION
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	2,9	2,8	2,7	2,5	2,2	2,2	2,2	1,8	1,8	1,9	NON-FERROUS/OTHER METALLURGICAL
QUÍMICA	3,0	2,9	2,7	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,3	CHEMICAL
ALIMENTOS E BEBIDAS	9,4	9,6	9,0	8,5	8,2	9,2	9,0	7,5	7,4	9,6	FOODS AND BEVERAGES
TÊXTIL	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	TEXTILES
PAPEL E CELULOSE	4,2	4,0	4,1	4,2	4,5	4,9	4,9	5,2	4,9	5,2	PAPER AND PULP
CERÂMICA	1,9	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	CERAMICS
OUTROS	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	2,8	2,7	2,5	OTHERS
CONSUMO NÃO-IDENTIFICADO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	UNIDENTIFIED CONSUMPTION

Fonte: EPE (2021)

2.2 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar pode ser utilizada tanto para a geração de energia elétrica quanto fonte de calor. Esse sistema transforma essa energia em eletricidade pelos seus componentes, com a diferença de potencial no semicondutor gerado pela irradiação solar que leva a movimentação de elétrons (CRESESB, 2004). Seu uso foi mais difundindo

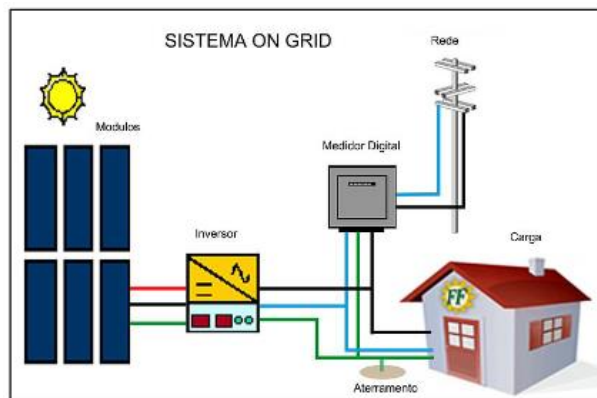
durante a corrida espacial devido sua facilidade de geração de energia em lugares distantes (CRESESB, 2004).

Começou-se a ser utilizada como uma fonte de energia alternativa devido à crise de 1973. Sua limitação inicial era limitada pelo alto custo em aquisição dos componentes. Já na década de 2011, seu valor na Europa era até 60% menor, comparado a década anterior (EPA, 2012).

2.2.1 SISTEMA ON-GRID

O sistema que tem seu funcionamento atrelado à rede de distribuição é chamado de on-grid (conectados à rede), portanto não necessitam de baterias para armazenamento da energia gerada. O excedente de energia que não usada é inserido no sistema de distribuição, criando créditos ao gerador que podem ser utilizados, em até 3 anos, para suprir outro momento que essa geração seja menor que o consumo. A Figura 2.3 ilustra seu funcionamento.

Figura 2.3 - Sistema fotovoltaico on-grid

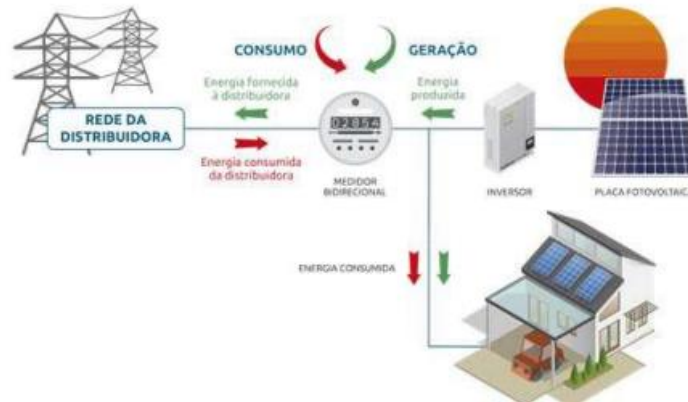


Fonte: Portal do Sol, 2015.

2.2.2 SISTEMA OFF-GRID

Ao contrário do sistema exposto anteriormente, o sistema off-grid diferencia-se pela necessidade de utilização de baterias, regulador de cargas (carregamento da bateria) e um inversor (corrente alternada e contínua). A sua exemplificação é mostrada na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Sistema fotovoltaico off-grid



Fonte: Júnior (2019)

2.2.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Os painéis fotovoltaicos, são responsáveis pela transformação da energia solar em eletricidade. Podem ser divididos em formados por células de silício (módulos de silício mono ou policristalinos) ou filmes finos (silício amorfo, telureto de cádmio – Cdte e desseleneto de cobre gálio e índio). São especificados pela sua potência nominal de geração (Wp – Watt pico), valor que é encontrado através de ensaios de teste em condições definidas: Intensidade de radiação de 1.000 W/m², temperatura 25°C e espectro solar de massa 1,5 (Rüther, 2004).

Logo, em ambientes mais quentes, com maior intensidade de radiação, a geração é inversamente proporcional à potência, devido a temperatura influenciar na geração. Estudos mostram que os módulos se tornam menos eficientes que os filmes finos, que são aplicados principalmente em regiões com elevadas temperaturas. Um modelo na Figura 2.5 ilustra um modelo de painel.

Figura 2.5 - Painel fotovoltaico



Fonte: neosolar.com.br

2.2.4 INVERSORES

Os inversores, que fazem a transformação da corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CC-CA). Essa conversão é necessária para a conexão do sistema fotovoltaico ao sinal da rede de distribuição, com o mesmo padrão.

Dependendo da forma do projeto fotovoltaico, on-grid ou off-grid, o inversor terá propriedades diferentes. Para o primeiro, o inversor é comutado pela rede possui dependência da potência da distribuição que está interagindo pela conexão. Já para o segundo, o inversor será autocomutado e interação por apenas uma fonte.

Para seu dimensionamento, os inversores dependem do tamanho de potência do sistema a ser instalado, através do fator de dimensionamento do inversor que representa a razão entre a potência nominal na saída do inversor e a potência do sistema. Dependendo do projeto, o inversor pode ser multi-string ou um único inversor. A segunda opção tem-se um sistema unificado, com custos e manutenções inferiores; a desvantagem na eficiência do projeto. A Figura 2.6 (a) exemplifica o modelo multi-string, aplicado por um grupo de painéis e (b) o inversor único. Essa escolha definirá uma das características do ponto de máxima potência (MPTT, do inglês *Maximum Power Tracking*) do único ou vários inversores.

Figura 2.64 - Inversores (a) único e (b) *multi-string*



Fonte: neosolar.com.br

O cálculo da eficiência do inversor depende de diversas variáveis que são dependentes da irradiação solar e temperatura das células, por isso não se é definido um cenário único para testes desses componentes.

O funcionamento do inversor é pela emissão de sinal de pulso, conhecido como *PWN – Pulse Width Modulator*. Além disso, agregam sistemas de segurança como o isolamento em caso de alterações da rede de distribuição. Outras características importantes é o controle de harmônicas e o MPTT.

2.3 PEÇAS DE FIBRA DE VIDRO NA INDÚSTRIA

A utilização de componentes reforçados com fibra de vidro teve início na década de 1950 no Brasil com produtos importados até a década de 1970.

No ano de 1971 observou-se um aumento exponencial em sua utilização que durou até o ano de 1981, onde houve retração de 31% devido a recessão. Após essa recessão, o consumo teve aumento contínuo, onde em 1984 havia uma capacidade de produção de 50.000 toneladas anuais.

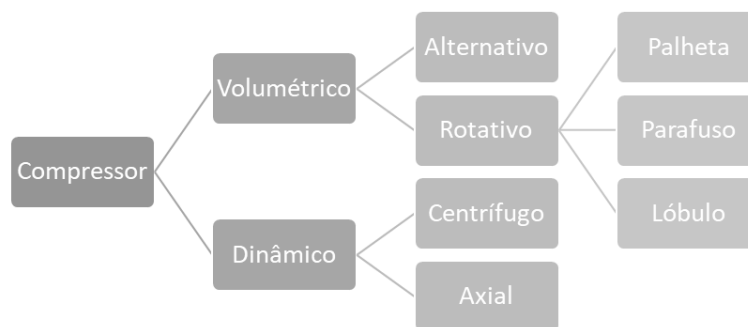
Suas maiores utilizações na indústria podem ser separadas em três grandes grupos: Indústria aeroespacial e militar, construção civil, e automotiva. A primeira busca que seus componentes tenham rigidez e densidade. As peças estruturais, fuselagem, painéis e capacetes são exemplos dessa indústria.

Na segunda categoria, é buscado componentes com resistência à impactos, baixa manutenção e flexibilidade em seu design. Reservatórios, peças sanitárias e painéis são umas das utilizações na construção civil. Por fim, a indústria automotiva tem como principais usos nas estruturas externas e peças do interior.

2.4 TIPOS DE COMPRESSORES DE AR INDUSTRIAIS

Um dos principais componentes do sistema pneumático é o compressor, responsável pela energia para realização de trabalho no cenário industrial (STEWART, 2006). Seu funcionamento inicia-se quando o ar atmosférico entra no componente, o que realiza a compressão para uma pressão maior e entregue aos dutos para utilização. Considerando o cenário industrial, os compressores podem ser classificados em dois grupos, dependendo do seu funcionamento e ciclo de trabalho. A Figura 2.7 ilustra essa classificação.

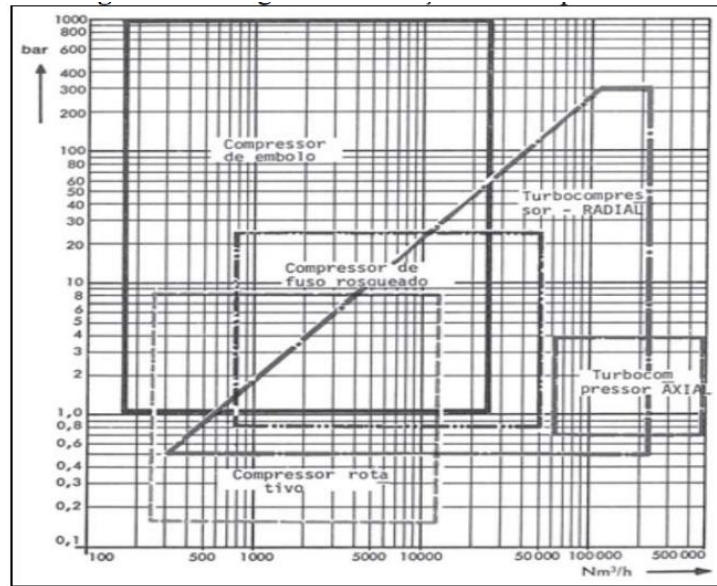
Figura 2.7 - Classificação dos compressores de ar



Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

Os compressores volumétricos trabalham com pressões elevadas (entre 6,9 e 6.900 bar) e vazão até 283 m³/min. Já os dinâmicos operam em pressões mais baixas até 690 bar e elevada vazão, até 28.300 m³/min (ROLLINS, 1989). O gráfico mostrado na Figura 2.8 pode ser utilizado para a escolha do compressor que deve ser utilizado.

Figura 2.8 - Gráfico de seleção de compressores



Fonte: Confederação Nacional da Indústria (2009)

Ainda, é preciso considerar a variação dos compressores quanto ao seu funcionamento: carga e alívio ou com inversor de frequência. O primeiro funciona de acordo com a pressão máxima e mínima que o componente deve entregar; quando atingido o máximo, o compressor para de injetar ar ao sistema, diminui sua potência, mas não deixa de funcionar; quando alcançado o mínimo, o compressor retorna ao funcionamento em cara e volta a fornecer ar comprimido ao sistema. Já com o inversor, o mesmo é modulado de acordo com a demanda de pressão e vazão requerida; esse funcionamento garante maior eficiência na relação consumo de energia e geração de ar comprimido.

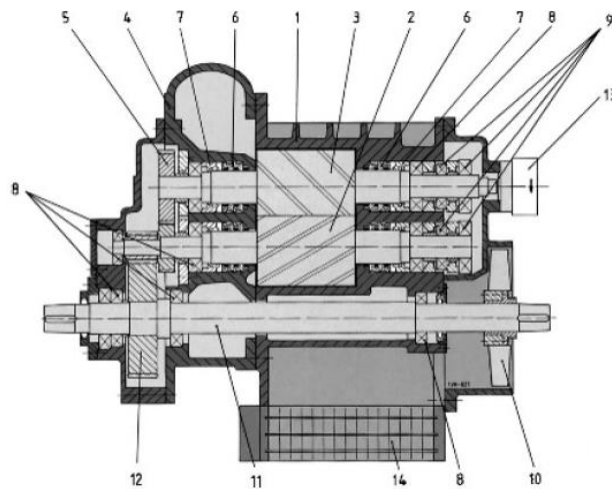
Para esse trabalho, o foco será os compressores Volumétricos rotativos de Parafuso, os quais são utilizados na indústria do estudo de caso.

2.4.1 COMPRESSORES A PARAFUSO ROTATIVO COM VELOCIDADE FIXA

O compressor a parafuso tem seu funcionamento em dois rotores que movimentam em sentidos opostos, engrenados um ao outro. O aumento da pressão se dá pela redução do volume do ar entre os lóbulos desses rotores. Sua estrutura básica e seus componentes estão exibidos na Figura 2.9, onde os números representam:

1. Carcaça
2. Rotor macho
3. Rotor fêmea
4. Placa lateral de entrada
5. Engrenagem para sincronização
6. Vedação de eixo de anel de carbono
7. Vedação do óleo
8. Rolamento radial
9. Rolamento axial
10. Ventilador de arrefecimento
11. Eixo de rotação
12. Engrenagem de conexão entre os eixos
13. Bomba de óleo – lubrificação
14. Resfriador do óleo

Figura 2.9 - Componentes do compressor a parafuso



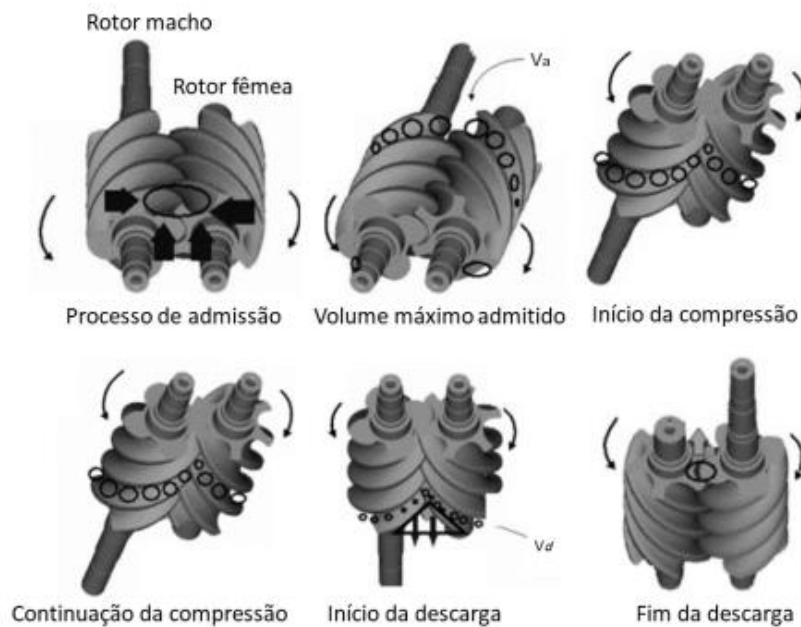
Fonte: Confederação Nacional da Indústria (2009)

Os rotores são responsáveis pela compressão tem o formato parafuso e são sincronizados pelos seus perfis: convexo e côncavo, macho e fêmea respectivamente. A configuração desses rotores segue o padrão 4+6 (4 módulos no rotor macho e 6 no fêmea). Os modelos atuais seguem a estrutura 5+7. (SILVA, 2009).

O funcionamento inicia-se pela sucção do ar devido a redução da pressão no bocal de entrada, gerada pela rotação dos rotores. O ar preenche os espaços entre os lóbulos e, com seu funcionamento, reduzem seu volume e aumentam a pressão. A saída do ar ocorre pela saída oposta a admissão, a elevada pressão (SILVA, 2009).

O volume de ar de entrada é o volume existente entre os filetes entre os lóbulos de entrada e a carcaça da câmara, multiplicado pelo número de lóbulos do rotor fêmea. Para a saída, seu volume representa os espaços entre os lóbulos na descarga (SILVA, 2009). A sequência de compressão é representada na Figura 2.10, onde pode ser observado a redução dos volumes entre os lóbulos a cada etapa de funcionamento.

Figura 2.10 - Etapas de compressão



Fonte: (SILVA, 2009)

Por trabalhar com velocidade fixa, seu consumo de energia é o mesmo para atender a demanda máxima de ar comprimido, mesmo que essa seja menor que a máxima disponível (ATLAS COPCO). Por sua velocidade não ser variável, uma válvula é acionada de modo a controlar a entrada e saída de ar.

Devido a esse comportamento, esse tipo de compressor é conhecido como Carga e Alívio, injetando ar ao sistema e fluir ar para fora, respectivamente. Por isso pode-se

considerar que está desperdiçando energia no ciclo de alívio – o compressor funciona com uma potência menor, mas descarta todo o ar durante esse funcionamento para fora. Esse modelo se encaixa para locais de trabalho que possuem uma demanda de ar constante, para empresas que trabalham 24 horas por dia e 7 dias da semana.

2.4.2 COMPRESSORES COM VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

A tecnologia com variação de velocidade trabalha modulando a vazão de ar comprimido de acordo com a demanda. Por isso é o modelo mais adequado quando ocorre alteração na vazão requerida, devido aos turnos, hora do dia ou até a época do ano. Assim, dependendo dessa amplitude de variação da demanda, mais eficiente será a substituição do modelo de velocidade fixa pela variável. Isso garante o funcionamento dentro de um intervalo menor que o modelo fixo, com pressões mais baixas, mas mantendo a vazão, que garante uma economia de 7% de economia de energia a cada 1 bar reduzido nesse *range*. A Figura 2.11 faz um comparativo entre esses modelos. (ATLAS COPCO).

Figura 2.11 - Comparativo entre modelos de compressor



Fonte: atlascopco.com.br

2.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO APLICADA E SEUS COMPONENTES

As lâmpadas podem-se criar três grandes grupos de tipos de iluminação artificial: Lâmpadas incandescentes, as de descarga em gases ou vapores, como as lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, etc.); e de LED. O primeiro grupo foi o primeiro modelo desenvolvido. Seu princípio de funcionamento é a passagem de corrente por um filamento que fica aquecido e emite a sua luz características.

Por ser o primeiro modelo desenvolvido, é o sistema menos eficiente diante das opções mais recentes e com maior eficiência. A transformação em luz do sistema é de apenas 10% da energia que é consumido; mas mesmo assim representam uma grande parte do mercado de lâmpadas (SILVA, 2004). Foi então desenvolvido uma nova lâmpada incandescente, mas que fosse mais eficiente que a anterior. Diante disso surgiu as incandescentes com gases halógenos. Seu filamento é geralmente de quartzo, que emite mais luz devido a maior resistência. São mais eficientes, até quatro vezes e mais duráveis.

Já as lâmpadas de descarga, conhecidas mais pelos modelos fluorescente, funciona através da excitação dos gases internos. Para tal funcionamento, é necessário a participação dos reatores. Esse tipo de lâmpada foi muito difundido no mercado devido ao seu maior grau de reprodução de cores, menos amarelada que a gerada pelas incandescentes. Seu modelo foi melhorado, principalmente pela diminuição do diâmetro, sendo o modelo T8 mais fino e eficiente que as demais.

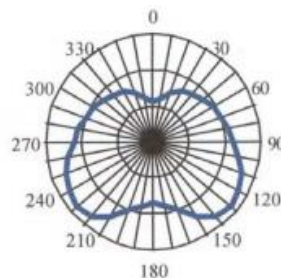
O terceiro modelo, conhecido como LED (Light Emitting Diode), funciona através de diodos emissores de luz. Nesse tipo de lâmpada funciona através da transformação da energia elétrica em luz.

Elas são mais eficientes que os demais modelos, com vida útil de até 50.000 h, não são necessários o uso dos reatores, entre outras vantagens. Apesar disso, possui algumas desvantagens, como seu elevado custo e uso de componentes importados.

As luminárias é o componente que faz a sustentação de todo o sistema da iluminação, distribuindo o fecho luminoso no ambiente. Sua principal característica a ser considera na sua escolha é a distribuição do da intensidade luminosa.

Essa distribuição pode ser ilustrada através da curva fotométrica, onde a lâmpada em si é representada por um ponto no centro e a intensidade luminosa no ângulo de dispersão. Um exemplo desse gráfico está exemplificado na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Curva fotométrica



Fonte: GHISI, 1997

A distribuição encontrada pode ser classificada em seis grupos, que levam em conta o quanto do fluxo de luz é direcionado para baixo.

As diretas direcionam esse fluxo em pelo menos 90% (recomendadas em áreas de iluminação local), as semidiretas ficam entre 60% a 90% (um certo risco de ofuscamento, pode ser utilizada, semi-indiretas direcionam entre 10% a 40%, direta-indireta entre 40% a 60%, difusoras e indiretas.

O primeiro modelo, é recomendado para a utilização onde o fluxo luminoso deve ser local. As semidiretas sofrem um certo nível de ofuscamento e são recomendadas para ambientes como escola.

Já as semi-indiretas não possuem ofuscamento, onde seu modelo de luminária é translúcido. Para o modelo direta-indireta funcionam para iluminação direta da superfície de trabalho. As difusoras possuem distribuição do fluxo luminoso em todas as direções e que podem ter ofuscamento direto e indireto. E por último, as indiretas possuem 10%

do fluxo luminoso para baixo, por isso necessitam de lâmpadas com potências elevadas.

2.6 TARIFAS HORO-SAZONAIS NA INDÚSTRIA

A estrutura de tarifação no Brasil é dividida devido ao nível de tensão: Alta ou Baixa Tensão (CEMIG, 2022). É considerada alta tensão (tipo A) para valores acima de 2,3 kV e a baixa (tipo B) por valores menores que o mesmo parâmetro, De acordo com CEMIG (2022), as subdivisões das categorias são exibidas da Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Caracterização dos grupos tarifários

Grupo	Subgrupo	Característica
A	A1	230 kV ou mais
	A2	De 88 a 138 kV
	A3	69 kV
	A4	De 2,3 a 25 kV
	AS	Subterrâneo
B	B1	Residencial
	B2	Rural, Cooperativa de Eletrificação Rural e serviço de Público de Irrigação
	B3	Demais classes
	B4	Iluminação pública

Fonte: Do autor, Adaptado de CEMIG (2011)

No cenário industrial, a maioria estão com consumos em alta ou média tensão. Além disso, seguem o Mercado Livre de Energia (MLE), onde a unidade consumidora adquire a energia de qualquer fonte de geração – sem o vínculo com a distribuidora, que pode ser de fontes incentivadas ou comum. Essa metodologia resulta em economias relevantes em seus custos. As fontes incentivadas são aquelas geradas por fontes renováveis, que garantem redução em porcentagem nos seus valores. Isso garante os custos com a energia menores que o cenário cativo (MCE). As distribuidoras cobram dois tipos de tarifas: taxas pela utilização dos sistemas elétricos de distribuição (TUSD), e a tarifa de energia (TE). Para o cliente livre, é cobrado apenas a TUSD, enquanto o cativo tem custo das duas taxas.

A TUSD envolve os custos atrelados ao sistema de distribuição, encargos e remuneração de investimentos. Já a tarifa de energia vem pelo custo da compra de energia. Existem quatro tipos de energia disponíveis no mercado:

1. Convencional não especial: não concede desconto na TUSD e adquirida apenas pelos consumidores livres;
2. Convencional especial: também não concede desconto na TUSD, mas pode ser adquirida por qualquer consumidor;
3. Incentivada especial: é concedido desconto na TUSD e pode ser adquirido por qualquer consumidor; e
4. Incentivada não especial: adquirida por qualquer consumidor e com desconto na TUSD.

A energia incentivada concede descontos de 50%, 80% ou 100% na TUSD, onde a demanda é maior para a primeira porcentagem citada. Dependendo da tarifação escolhida pelo cliente livre, os descontos podem ser aplicados nas tarifas de Demanda Ponta e Fora Ponta, ou na Demanda e na TUSD Encargo de Ponta – com abatimento na TUSD Encargo Fora Ponta. Considera-se período ponta o horário entre 18:00 à 21:00 h; e fora ponta das 21:00 às 18:00 h do dia seguinte (CPFL, 2022). A escolha de tarifação é diferenciada de acordo com o horário de funcionamento do consumidor e sua demanda, que pode ser a Tarifa Azul ou Tarifa Verde – tarifas disponíveis para escolha dos grandes consumidores.

A tarifação verde exige um contrato específico com a concessionária, delimitando a demanda pretendida pelo consumidor que não é diferenciada pelos horários ponta e fora ponta. O valor cobrado será sobre os consumos ponta e fora ponta pela sua tarifa, e a demanda contratada multiplicada pela sua tarifa. A ultrapassagem da demanda é considerada quando o seu valor for maior que 10% daquela contratada, onde sua tarifação é feita sobre o valor ultrapassado pela tarifa de ultrapassagem. Considerando o atual estudo, os valores considerados pela concessionária, CPFL, estão listados na Figura 2.13. Esses valores podem variar de acordo com a bandeira tarifária, que são aplicadas em função das condições da geração.

Figura 2.13 - Valores aplicados na Tarifa Verde

Sub Grupo	TUSD				TE (R\$/MWh)							Ultrapassagem (R\$/KW)	
	R\$ KW	Ponta	Fora Ponta	TE	Ponta			TE	Fora Ponta			Ponta	Fora Ponta
		R\$ MWh	R\$ MWh		Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha		Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha		
A3a (30 a 44 kV)	13,41	897,06	89,93	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57		26,82
A4 (2,3 a 25 kV)	13,41	897,06	89,93	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57		26,82

Fonte: CPFL (2022)

Já a tarifação azul também exige um contrato com a concessionária. Entretanto é definido um valor para a demanda ponta diferente em relação ao fora ponta. Da mesma forma, a Figura 2.14 expõem os custos da Tarifa Azul

Figura 2.14 - Valores aplicados na Tarifa Azul

Sub Grupo	TUSD				TE (R\$/MWh)							Ultrapassagem(R\$/KW)	
	Ponta	Fora Ponta	R\$ MWh	TE	Ponta			TE	Fora Ponta			Ponta	Fora Ponta
	R\$ KW	R\$ KW			Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha		Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha		
A2 (88 a 138 kV)	14,79	7,57	65,38	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57	29,58	15,14
A3 (69 kV)	43,23	14,66	107,15	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57	86,46	29,32
A3a (30 a 44 kV)	33,19	13,41	89,93	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57	66,38	26,82
A4 (2,3 a 25 kV)	33,19	13,41	89,93	453,71	453,71	472,45	595,71	281,57	281,57	300,31	423,57	66,38	26,82

Fonte: CPFL (2022)

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de analisar as formas as formas de implantação de um projeto com a visão de eficiência energética dentro do cenário industrial de fabricação de peças de fibra de vidro, levando em consideração as viabilidades econômicas e técnicas desse projeto.

3.1 OBJETIVO E ESCOPO DO PROJETO

O projeto incorporado com diversas ações de eficiência foi desenvolvido dessa maneira de forma a calcular a viabilidade técnica e econômica de cada uma delas e seus impactos na diminuição dos custos com energia elétrica.

Com base de medições e análise dos resultados encontrados, foram definidas essas vertentes de ações: Melhoria no sistema de ar comprimido, *retrofit* na iluminação

industrial, oportunidade de introdução de um sistema de energia fotovoltaica, e alteração da tarifa horo-sazonal atual.

3.2 PARQUE FABRIL INDUSTRIAL – CENÁRIO BASE

O empreendimento utilizado como estudo de caso é uma indústria privada, localizada no Estado de São Paulo, com área fabril de aproximadamente 11.000 m², composta por áreas fabris e administrativas. Seu foco está na fabricação de componentes formados por compósitos com fibra de vidro. Possui uma área de telhado de aproximadamente 8.000,00 m².

A fábrica tem sua produção focada no abastecimento de peças de fibra de vidro à empresa principal do grupo, ou seja, sua demanda depende diretamente da indústria principal. Os produtos são produzidos e encaminhados a fábrica principal com acabamento de lixamento e rebarbas, mas a pintura é realizada após a montagem dos componentes ao produto final.

O sistema de compressão de ar é composto por um compressor ar carga/alívio, do tipo a parafuso, que abastece toda a área fabril. A iluminação é composta por 350 luminárias com duas lâmpadas fluorescente de 54 W e seu respectivo reator.

Com relação à energia elétrica, a média aproximada do consumo durante o horário de ponta é 11.900,00 kWh e 115.697,4398 kWh no período fora ponta.

Não existe uma geração própria de energia pela empresa, a qual está enquadrada no cenário do Mercado Livre, de fonte incentivada 50% e Tarifa Azul.

3.2.1 LEVANTAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DA INSTALAÇÃO

Para comparação e cálculos de viabilidades para cada ação, é importante coletar dados do cenário atual, onde foi utilizado os dados ao longo do mês de maio de 2022. Para a coleta dos dados da planta como um todo e do compressor, foi utilizado uma remota e uma plataforma para análise dos resultados. A Figura 3.1 ilustra um exemplo de remota.

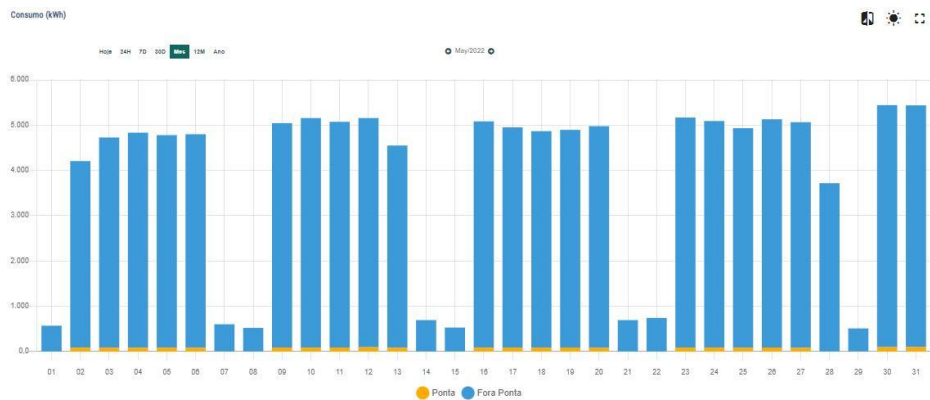
Figura 3.1 - Exemplo de remota utilizando para coleta de dados



Fonte: engecomp.com.br

Com os dados coletados, é possível verificar o padrão nos consumos da fábrica escolhida, o qual é determinado devido com os dias da semana de trabalho. A Figura 3.2 é possível verificar esse cenário, que se altera apenas para o dia 28, um sábado que houve produção.

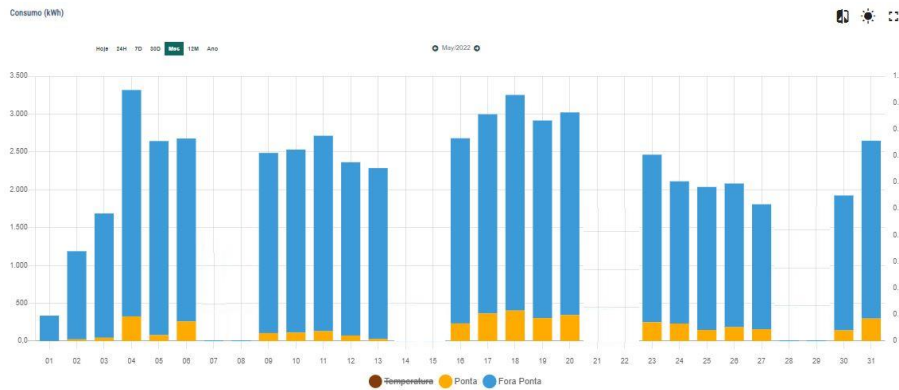
Figura 3.2 - Perfil de consumo observado no empreendimento



Fonte: Do Autor

O consumo durante o funcionamento do compressor de ar está exposto na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Perfil de consumo do compressor de ar

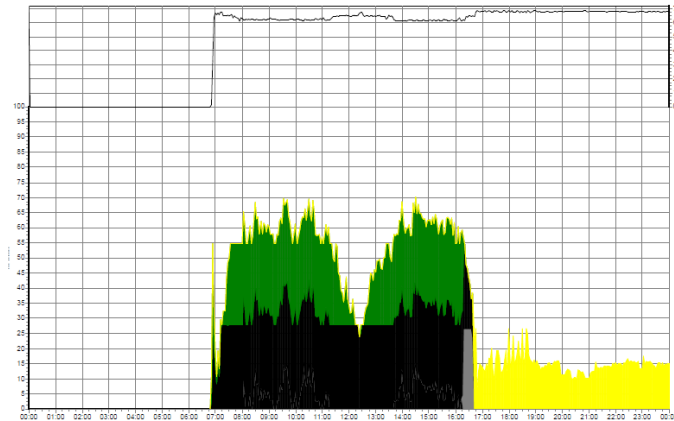


Fonte: Do Autor

Na comparação dos gráficos apresentados, constata-se que o consumo do compressor é bastante relevante sobre o cenário total. Por isso a troca por um modelo mais eficiente e moderno se torna uma boa solução, principalmente pela inclusão do modelo com inversor de frequência, o qual garante uma modulação da pressão e vazão necessárias.

De forma a visualizar a demanda de vazão e pressão de ar comprimido, foi feito a mesma coleta de dados para o compressor. A Figura 3.4 mostra o perfil obtido, que retrata o cenário padrão da indústria: aumento no início do turno, redução no horário de almoço, aumento pós almoço e redução ao final do turno. O eixo horizontal mostra os horários do dia e dos turnos de funcionamento. Já o eixo vertical indica a demanda de vazão, em m³ ao longo do tempo do dia. A curva amarela fora do considerado primeiro turno representa o funcionamento desse compressor durante o segundo turno, onde a variação para esse turno é bem menor que o turno anterior. Outra informação relevante nesse gráfico é observar que a pressão de trabalho fica entre 6 a 7 bar, o que pode ajudar a mensurar as economias pretendidas

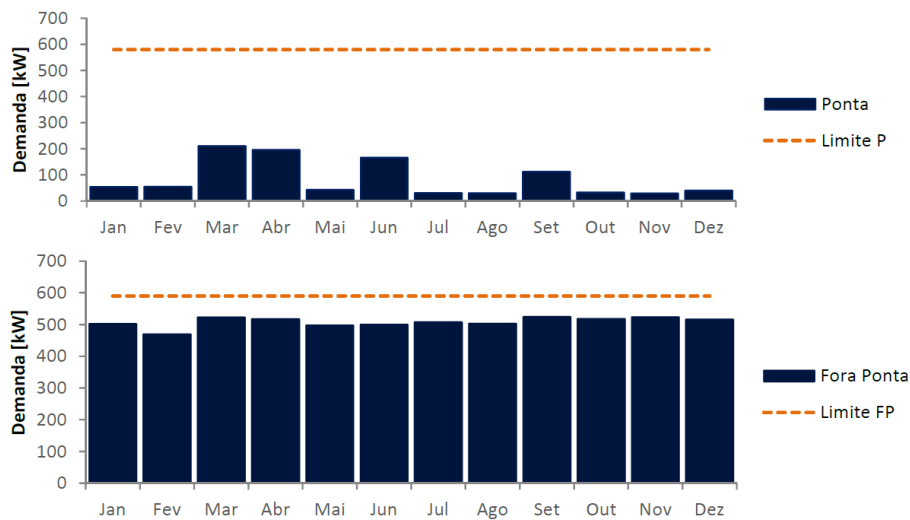
Figura 3.4 - Perfil de demanda por ar comprimido



Fonte: Do Autor

A empresa está incluída na Tarifa Azul – com diferença nas tarifas cobradas durante o período ponta e fora ponta. Com relação a demanda utilizada pela contratada, foi observado o cenário ilustrado na Figura 3.5. Os valores de demanda contratada são 552 e 562 para Ponta e Fora Ponta, respectivamente.

Figura 3.5 - Perfil de demanda da indústria



Fonte: Do Autor

3.2.2 RESULTADOS PRETENDIDOS

Das propostas feitas para análise de viabilidade, pode-se alcançar resultados diferentes entre si. O *retrofit* da iluminação é esperado uma redução de pelo menos 50% do

consumo, já que será considerada a colocação de lâmpadas LED e retirada dos reatores anteriormente utilizados.

Com os compressores, espera-se redução de pelo menos 15% do consumo atual, devido a troca do modelo de compressor (ATLAS COPCO, 2020). Além disso, é considerado uma perda de 7% a cada aumento de 1 bar no sistema, o que poderá ser sanado com a utilização de um compressor com inversor. Ainda, será projetado um compressor com motor de potência necessária para funcionamento, evitando-se o sobredimensionamento.

A usina fotovoltaica será dimensionada com o intuito de suprir até 40% do consumo total da fábrica, isso porque a mesma está incluída no Mercado Livre de energia, onde se tem um *take* máximo e mínimo (+20% e -30%) flexível. A usina irá fornecer energia elétrica sem a necessidade de alteração no contrato da empresa com a fornecedora.

Por fim, na proposta de alteração da tarifação não é possível estimar exatamente um valor de redução, mas com uma análise rápida dos perfis de consumo fabril, estima-se uma redução de pelo menos R\$ 50.000,00 ao ano. Assim, é pretendido uma redução nos custos com energia elétrica em cerca de 40%.

3.3 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para cada abordagem com foco em eficiência, foi definido uma estratégia de análise e previsões de redução de custos. No fim de cada uma delas, é feita a análise através do cálculo de *Payback* (tempo de retorno do investimento). É utilizado como medição do tempo de retorno do valor investido devido à redução gerada; assim é possível avaliar se vale a pena esperar o retorno proposto devido a economia alcançada. Sua forma de cálculo é feita através da Equação 1.

$$Payback \text{ Simples} = \frac{\textit{Investimento inicial}}{\textit{Economia}} \quad (1)$$

É interessante considerar o chamado *Payback* descontado, o qual leva em consideração os ajustes descontando as taxas de juros - TMA (Taxa Mínima de Atratividade), onde se obtém uma visão do valor do dinheiro no futuro, a Equação 2 mostra o cálculo citado.

$$\text{Payback Descontado} = -\text{Investimento} + \frac{FC_t}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Portanto, com essas ferramentas de cálculo dos retornos dentro das estratégias, a seguir é analisado cada um dos sistemas, seus funcionamentos e custos com os investimentos.

3.3.1 **RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO**

O *retrofit* será feito a partir da troca das lâmpadas fluorescentes instaladas dentro do galpão industrial por um modelo LED, com potência inferior, mas com as mesmas características.

As características das lâmpadas a serem instaladas em substituição aos modelos fluorescentes será o modelo mostrado na Figura 3.6 e suas características estão listados na Tabela 3.1.

Figura 3.6 - Modelo de lâmpada LED utilizada no *retrofit*



Fonte: dimensional.com.br

Tabela 3.1 - Características do modelo

Dados da lâmpada LED

Modelo	CorePro LEDtube 1200mm 18W T8 C
Potência (W)	18
Temperatura de cor (K)	6500

Fonte: dimensional.com.br

Além desses dados, é necessário o levantamento das premissas do cenário atual para cálculo da viabilidade do projeto, das quais estão listadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Premissas do sistema de iluminação

Dados do sistema de iluminação	
Tempo de troca para cada luminária (min)	40
Preço da lâmpada tubular LED de 54 W (R\$)	35,80
Custo de mão de obra por hora, HH (R\$)	45
Quantidade total de lâmpadas a serem substituídas (un)	350
Quantidade de reatores a ser retirados (un)	175
Tempo total de funcionamento das lâmpadas (h)	17
Custo da Energia Elétrica cobrado (R\$/kWh)	0,60

Fonte: Do autor

O valor de HH, ou Hora-Homem, é referente ao valor da empresa para o uso da mão de obra para tal atividade, por hora. Ou seja, o tempo dispensado para o trabalho do colaborador durante uma hora interrupta. Já o custo com energia elétrica é o valor cobrado à empresa com a soma dos custos, com impostos, na geração pela CEMIG, distribuição pela CPFL, e as mensalidades pagas para a gestora de energia ECOM e à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, CCEE – que incluem despesas extras com as Liquidações Financeiras e Encargos de Serviços de Sistema. A primeira, trata-se de possíveis custos extras devido a utilização de fontes de energias mais caras, como as termelétricas; a segunda são encargos rateados para cada um dos agentes pertencentes a CCEE para balanço do sistema devido aos inadimplentes.

Primeiramente, é necessário calcular o Investimento total que deve ser feito para esse projeto, considerando todas essas premissas anteriores. Abaixo está a Equação 3 para cálculo do Investimento.

$$\text{Investimento} = C_{TL} + C_{TMO} \quad (3)$$

Sendo:

- C_{TL} – Custo total com a compra das lâmpadas;
- C_{TMO} – Custo total com mão de obra para troca das lâmpadas

O custo total com a compra das lâmpadas é calculado através da Equação 4.

$$C_{TL} = C_L \times Q_L \quad (4)$$

Sendo:

- C_L – Custo com a compra de cada lâmpada;
- Q_L – Quantidade total de lâmpadas.

Assim, o custo total com a compra das lâmpadas, C_{TL} , é R\$ 12.530,00. Já os custos com mão de obra para troca são feitos pela Equação 5.

$$C_{TMO} = HH \times Q_L \quad (5)$$

Sendo:

- HH – Hora-homem;
- Q_L – Quantidade total de lâmpadas.

Como o tempo de troca para cada luminária está em minutos, o mesmo deve ser dividido por 60, devido o valor de mão de obra ser medido por hora. Então, o valor encontrado no gasto de mão de obra para a troca de todo o sistema é igual a R\$ 10.500,00.

Somando as Equações 4 e 5, encontra-se o valor do Investimento – Equação 3, igual a R\$ 23.030,00.

3.3.2 SUBSTITUIÇÃO DE COMPRESSORES DE AR

Para tal solução, foi considerado um compressor com vazão mais próxima da já existente, mas com funcionamento com inversor de frequência. O Investimento considerado para aquisição foi de R\$ 458.800,00, incluindo a logística e adaptações necessárias nas instalações.

O cenário da substituição do compressor se baseia nos dados listados na Tabela 3.3, que comparam os valores obtidos pelas informações de registro no próprio compressor atual, através do display, e nos dados técnicos do modelo pretendido.

Tabela 3.3 - Dados comparativos dos compressores

Características técnicas dos compressores	Compressor atual	Compressor pretendido
Vazão máxima (m³/h)	1677	1899
Vazão total (m³/h)	1677	1899
Potência em carga total instalada (kW)	164	201
Potência em alívio (kW)	36	55 mínima
Demanda de vazão (m³/h)	738	738
Taxa de utilização em carga (%)	44	Variável
Taxa de utilização em alívio (%)	66	0
Vazão média (m³/h)	286	286

Fonte: Do autor

3.3.3 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA

A coleta dos consumos de energia elétrica ao longo dos anos está listada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Informação sobre consumos da planta fabril

Grandeza elétrica	Valor
Consumo Ponta (MWh/ano)	142,80

Consumo Fora Ponta (MWh/ano)	1435,20
Consumo Total (MWh/ano)	1577,65
Demanda Ponta (kW)	552
Demanda Fora Ponta (kW)	562

Fonte: Do autor

A premissa de abastecimento é 40% do total do consumo, ou seja, 631 MWh/ano. Os dados climatológicos e solar da região onde a indústria está são exibidos pelas Tabelas 3.5 e 3.6, respectivamente, retirados da página do CRESESB.

Tabela 3.5 - Dados climatológicos da região

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temp. máx. recorde (°C)	35	35,5	34,6	33,2	30,6	32	30	33,2	35,7	39,2	34,9	35,6	39,2
Temp. máx. média (°C)	28,2	28,4	28,2	26,9	23,8	23,3	23,3	25,2	26,6	27,9	27,9	28,6	26,5
Temp. média (°C)	23,7	23,8	23,5	22	19,1	18,4	18,1	19,4	20,9	22,4	22,6	23,5	21,5
Temp. mín. média (°C)	19,3	19,2	18,8	17,2	14,3	13,6	12,8	13,7	15,2	16,9	17,4	18,5	16,4
Temp. mín. recorde (°C)	14,2	14,4	14	7,8	4	1,2	0,2	5	5	9	10,1	12	0,2

Fonte: Adaptado de pt.wikipedia.org/

Tabela 3.6 - Irradiação média mensal (kW/m².dia)

Inclinação	Plano Horizontal	Ângulo igual a latitude	Maior média anual	Maior mínimo mensal
Ângulo	0° N	23° N	21° N	29° N
Jan	5,5	4,98	5,04	4,76
Fev	5,81	5,54	5,59	5,37
Mar	5,13	5,28	5,29	5,21
Abr	4,63	5,26	5,23	5,32
Mai	3,75	4,64	4,58	4,78
Jun	3,49	4,55	4,47	4,73
Jul	3,65	4,66	4,59	4,83
Ago	4,64	5,53	5,48	5,65

Set	4,8	5,12	5,12	5,11
Out	5,42	5,29	5,32	5,16
Nov	5,81	5,32	5,38	5,15
Dez	6,1	5,42	5,5	5,15
Média	4,89	5,13	5,13	5,1
Delta	2,61	0,99	1,11	0,92

Fonte: cresesb.cepel.br

O ângulo escolhido para posicionamento do sistema será de 23° N, onde se tem uma média de irradiação de 5,13 kWh/m².dia. Convertendo o valor para anos tem-se: 1872,45 kWh/m².ano. Considerando um fator de performance do sistema de 85%, é possível calcular a potência do sistema fotovoltaico, em kWp através da Equação 6.

$$P_{sist} = \left(\frac{C_{tot}}{I_{rr}} \right) / F \quad (6)$$

Sendo:

- P_{sist} – Potência total do sistema;
- C_{tot} – Consumo total por ano;
- I_{rr} – Irradiação média por ano;
- F – Fator de performance do sistema.

Da Equação 6, o sistema terá uma potência total de 399 kWp.

A placa escolhida é a da Canadian Solar, modelo MaxPower CS6U-335M, mostrada na Figura 3.7 e os dados na Tabela 3.7.

Figura 3.7 - Placa solar selecionada



Fonte: solaris-shop.com

Tabela 3.7 - Dados da placa fotovoltaica

Dados da Placa			
Modelo	CS6U-335P	NOCT	
L (m)	0,992	P*_{mp} (W)	247
A(m²)	1,94	V*_{mp} (V)	34,4
H (m)	1,96	I*_{mp} (A)	7,18
	STC	V*_{oc} (V)	42,8
P°_{mp} (W)	335	I*_{sc} (A)	7,70
V°_{mp} (V)	37,4	T*_{NOCT}(°C)	45
I°_{mp} (A)	8,96	γ_{mp} (%/°C)	-0,39
V°_{oc} (V)	45,8	γ_{oc} (%/°C)	-0,29
I°_{sc} (A)	9,54	γ_{sc} (%/°C)	0,05

Fonte: sicesolar.com.br

A quantidade de placas a serem utilizados é obtida através da Equação 7. O que indica a utilização de 1.192 módulos – valor arredondado para cima de forma a facilitar o dimensionamento e atender plenamente a premissa estabelecida.

$$Q_p = \frac{P_{sist}}{P_p} \quad (7)$$

Sendo:

- Q_p – Quantidade de placas a serem utilizadas;
- P_{sist} – Potência total do sistema;

- P_p – Potência nominal da placa.

Portanto, o valor total da potência gerada pelos 1.192 módulos de 335 W, é 339,32 kWp. Em continuidade, a escolha do inversor é feita considerando a potência total do sistema e a tensão de alimentação da indústria. Como esse valor do inversor pode ser até 25% menor que o total, chega-se a um valor de 299,5 kWp – com ligação trifásica de 220 V. Dependendo do formato de ligação entre as placas fotovoltaicas, o dimensionamento do inversor pode alterar. Considerado 12 inversores do modelo MAC-25KTL3 XL de 25 kWp 220 V da Growatt. A Figura 3.8 mostra o aparelho e a Tabela 3.8 as características técnicas.

Figura 3.8 - Inversor escolhido



Fonte: sicesolar.com.br

Tabela 3.8 - Dados do inversor

Dados do Inversor	
Modelo	MAC-25KTL3 XL
Tensão máxima de entrada (V)	1.000
Área de tensão do MPPT (V10)	200 ~ 1000
Rastreadores de MPPT	3
Números de arranjos MPPT	4
Corrente máxima por <i>string</i> (A)	52

Fonte: sicesolar.com.br

O uso de 12 inversores garante até 108 arranjos no total. O dimensionamento dos arranjos está listado na Tabela 3.9.

Tabela 3.94 - Dimensionamento dos arranjos

Arranjos	Painéis	Total painéis
66	16	1056
4	15	60
4	14	56
2	10	20
Totais		
76		1192

Fonte: sicensolar.com.br

Para confirmar que os arranjos não ultrapassem os parâmetros do inversor, foram calculados os limites que estão mostrados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Parâmetros a serem atendidos do inversor

Tensão máxima do Arranjo			
Arranjo	Tensão máxima do arranjo (V)	Área de tensão do inversor (V)	Resultado
16 painéis	732,8	200 ~ 1000	OK
15 painéis	687		OK
14 painéis	641,2		OK
10 painéis	458		OK
Tensão de Operação			
Arranjo	Tensão de Operação (V)	Tensão máxima de tensão do inversor (V)	Resultado
16 painéis	598,4	1000	OK
15 painéis	561		OK
14 painéis	523,6		OK
10 painéis	374		OK
Corrente de curto-circuito			
Arranjo	Corrente de curto-circuito (A)	Corrente máxima por <i>string</i> (A)	Resultado
4 MPPTs	28	52	OK

Fonte: sicensolar.com.br

A distribuição dos painéis ao longo do telhado seria atendida totalmente pela área existente atual – apenas com o acerto no ângulo de posicionamento. Do sistema projetado, é possível levantar o Investimento necessário. Os valores estão na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Investimento para implantação do sistema fotovoltaico

Componente	Quantidade	Custo (R\$)	Valor Final (R\$)
Painel fotovoltaico	1192	900,00	1.072.800,00
Inversor de frequência	12	14.000,00	168.000,00
Miscelâneas	-	-	20.000,00
Projeto	-	-	10.000,00
Total de Investimento			1.270.800,00

Fonte: Do autor

3.3.4 ALTERAÇÃO DE TARIFA HORO-SAZONAL

A troca de tarifa hora-sazonal se baseia nas taxas cobradas sobre as demandas e consumos de energia pela concessionária da região, que no caso é a CPFL Paulista. A Tabela 3.12 faz a comparação do contrato real e a possível alteração, a partir dos dados de custos da companhia. Como essa alteração não possui custos, o investimento será zero.

Tabela 3.12 - Comparativo entre os contratos de energia

Grandezas de comparação	Atual	Pretendido
Tarifa horo-sazonal	Azul	Verde
Tarifa demanda Ponta (R\$/kW)	33,19	-
Tarifa demanda Fora Ponta (R\$/kW)	13,41	0,08993
Demanda Ponta (kW)	552	-
Demanda Fora Ponta (kW)	562	500

Fonte: Do autor

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICAS DAS ESTRATÉGIAS

Diante dos levantamentos listados, é possível calcular a viabilidade de cada um dos projetos, de forma a evidenciar suas viabilidades e retorno financeiro alcançado no total e separadamente.

3.4.1 ILUMINAÇÃO

Com o valor do Investimento calculado anteriormente, é possível fazer o cálculo da economia de tal estratégia. A realização desse cálculo está exibida na Tabela 3.13 com dados listados anteriormente na Tabela 15. Foi considerado o total de 22 dias úteis por mês.

Tabela 3.13 - Cálculo da economia obtida

Economia com Retrofit		
Modelo de lâmpada	Fluorescente	LED
Total de luminárias	175	175
Total de lâmpadas	350	350
Potência lâmpada (W)	54	18
Total de reatores	175	0
Potência reator (W)	9	0
Potência Total do sistema (W)	12.600	6.300
Total de horas do turno, por dia (h)	17	
Custo da energia elétrica cobrado (R\$/kWh)	0,60	
Custo total com energia elétrica por mês (R\$)	3.855,60	1.927,80
Custo com manutenção - duração lâmpada (R\$/mês)	5.000,00	3.250,00
Valor final (R\$)	8.855,60	5.177,80
Porcentagem de economia (%)		41,5
Economia pela troca de lâmpadas (R\$)		3.677,80 por mês

Fonte: Do autor

Assim é possível realizar os cálculos de *Payback*, e *Payback* descontado que estão representados nas Equações (1), (2) e (3), respectivamente. Foi considerada a SELIC como

taxa de juros – valor mensal (0,825%), e 12 meses o período de tempo do investimento. Portanto, os valores encontrados podem ser exibidos na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Cálculo da viabilidade da solução com *retrofit* do sistema de iluminação

Cálculos de viabilidade	
<i>Payback</i>	6 meses e 7 dias
<i>Payback descontado</i>	7 meses e 20 dias

Fonte: Do autor

Através desses valores encontrados, é possível analisar que essa estratégia se mostra viável para aplicação.

3.4.2 COMPRESSOR DE AR

Do mesmo modo que a iluminação, o cálculo de viabilidade deve ser feito, o qual está exposto na Tabela 3.15

Tabela 3.15 - Cálculo da viabilidade da solução com troca do compressor de ar

Cálculos de viabilidade	Compressor atual	Compressor pretendido
Energia consumida em carga (MWh/ano)	151	276
Energia consumida em alívio (MWh/ano)	226	0
Custo da energia elétrica cobrado (R\$/kWh)		0,60
Despesa com energia anual (R\$)	286.488,00	165.600,00
Porcentagem de economia (%)		19
Economia anual (R\$)		126.888,00

Fonte: Do autor

A Economia mensal esperada será de R\$ 10.574,00. Desse valor, os cálculos da viabilidade estão listados na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Cálculo da viabilidade da solução com troca do compressor de ar

Cálculos de viabilidade	
<i>Payback</i>	3 anos e 7 meses
<i>Payback descontado</i>	4 anos e 6 meses

Fonte: Do autor

Apesar do tempo de retorno ser relativamente mais alto que a solução com a iluminação, a estratégia se torna viável frente a uma indústria de médio porte, além do interesse privado das empresas na busca por redução nos custos. O VPL se mostra inviável o investimento, mas será considerada a estratégia na compilação dos dados.

3.4.3 USINA FOTOVOLTAICA

A Economia dessa estratégia vem da redução do consumo requisitado pelo contrato com a geradora de energia. A Tabela 3.17 mostra os valores e a redução alcançada.

Tabela 3.17 - Cálculo da viabilidade da usina fotovoltaica

Cálculos de viabilidade	
Investimento (R\$)	1.270.800,00
Energia gerada (kWh/ano)	631.000
Custo da energia elétrica cobrado (R\$/kWh)	0,60
Economia anual (R\$)	378.600,00
Porcentagem de economia (%)	40
<i>Payback</i>	3 anos e 4 meses
<i>Payback descontado</i>	4 anos e 2 meses

Fonte: Do autor

Seguindo a mesma linha da estratégia descrita na solução anterior, essa abordagem também se torna viável pelo tempo de retorno anual ser relativamente baixo dentro de um empreendimento industrial.

3.4.4 TARIFA HORO-SAZONAL

Para o comparativo da alteração da tarifa, a Tabela 3.18 lista os comparativos dos custos envolvidos em cada uma delas. Não foram consideradas os impostos e outras taxas administrativas nas duas comparações; apenas os valores de tarifa sobre a energia consumida e as demandas contratadas.

Tabela 3.18 - Comparativo dos custos e retorno com a troca de tarifa horo-sazonal

Grandezas de comparação	Atual	Pretendido
Tarifa horo-sazonal	Azul	Verde
Tarifa demanda Ponta (R\$/kW)	33,19	-
Tarifa demanda Fora Ponta (R\$/kW)	13,41	0,08993
Demanda Ponta (kW)	552	-
Demanda Fora Ponta (kW)	562	500
Valor médio pago na conta (R\$)	28.750,00	19.560,00
Porcentagem de economia (%)		68
Economia mensal estimada (R\$)		9.190,00

Fonte: Do autor

Como a alteração da tarifa não envolve nenhum custo ou investimento, não será calculado a sua viabilidade, apenas considerado a economia.

3.5 RESULTADOS OBTIDOS

A partir do cálculo de viabilidade de cada uma das soluções, é possível encontrar o investimento total para aplicação de cada uma delas, as suas economias e o tempo de retorno. A Tabela 3.19.

Tabela 3.19 - Análise das estratégias utilizadas

Estratégia	Investimento (R\$)	Economia mensal (R\$)
Retrofit do sistema de iluminação	23.030,00	3.667,80
Substituição do compressor de ar	458.800,00	10.574,00
Implantação de usina fotovoltaica	1.270.800,00	31.550,00

Alteração de tarifa horo-sazonal	0,00	9.190,00
Total	1.752.630,00	55.981,80
Payback	31 meses e 10 dias	
Payback descontado	36 meses e 15 dias	

Fonte: Do autor

Da análise, é possível chegar em valores de *Payback* e *Payback* descontado que podem ser considerados aceitáveis, pois são um pouco mais de 3 anos.

Mas, se for analisado o valor final do investimento, o mesmo é alto para ser feito de uma vez só. Por isso, pode-se escalonar as soluções de modo a distribuir o custo de implantação. Dessa maneira, a primeira a ser implantada é a alteração da tarifa horo-sazonal pois não se tem nenhum investimento.

Considerado o valor final da conta atual, na média de R\$ 77.000,00, com a futura com a aplicação de todas as soluções, é esperado um valor final será de por volta de R\$ 21.018,20 – redução final de 72,70%

O *retrofit* da iluminação pode ser aplicado junto com a anterior, pois é considerado um investimento mensal por mês. As outras duas estratégias podem ser distribuídas ao longo dos meses; é proposto uma sequência de investimentos e retornos na Tabela 3.20. É considerado a implantação de cada uma das estratégias, seu custo de investimento e seu retorno – contabilizado a partir do mês seguinte. O andamento foi simplificado por ser calculado em um total de 96 meses – o cálculo completo mostrado na tabela abaixo encontra-se no Apêndice A desta monografia. O saldo considerado refere-se ao cálculo do investimento feito em cada uma das linhas, com as economias nos meses.

Tabela 3.20 - Sequência proposto de investimentos

Mês	Estratégia	Investimento (R\$)	Saldo considerado (Investimento + Economia) R\$
0	Tarifa	0,00	0
1	Iluminação	-23.030,00	-10.172,00
.	-	-	.

.	-	-	.
.	.	.	.
36	-	-	439.850,80
36	Compressor	-458.800,00	- 6.091,40
.	-	-	.
.	-	-	.
87	-	-	1.071.771,40
88	Usina	-1.270.800,00	- 81.869,60
.	-	-	.
.	-	-	.
.	-	-	.
96	-	-	357.984,80

Fonte: Do autor

Nessa sequência, não foi considerado possíveis investimentos para aquisição das soluções propostas e também os custos com manutenção e depreciação dos sistemas. Mesmo assim, o retorno e o saldo considerado tornam a solução completa viável de uma forma geral.

4 CONCLUSÃO

A proposta do trabalho foi avaliar quatro estratégias de eficiência energética e seus desempenhos em uma indústria de peças de fibra de vidro. Essas soluções foram analisadas através do tempo de retorno do investimento.

Com base desses medidores de desempenho, mostrou-se viável a aplicação direta de duas delas: alteração da tarifa horo-sazonal e a iluminação, já que as mesmas possuem investimento baixo e retorno curto. Além disso, as porcentagens de economia, 68% e 41,5% respectivamente, mostram a relevância das ações dentro dos seus cenários.

Outrossim, a troca do compressor de ar, por sua vez, se tornou viável com redução de aproximadamente 19% do seu consumo. Mesmo com o retorno de investimento ser um pouco maior que os dois anteriores e a porcentagem de economia baixa, a estratégia deve ser considerada, isso porque a parcela da conta de energia relacionada com esse componente é alta, cerca de 30% antes de sua implantação. Após isso, o resultado é de apenas 18% da conta final.

Por fim, a introdução de uma usina fotovoltaica de 0,399 MWp, com estimativa de produção de 631 MWh por ano, é uma solução interessante pois, através dela, foi possível reduzir o valor de consumo em 40%. Esse valor foi limitado devido ao contrato vigente com a geradora de energia e seu valor mínimo de consumo, sem penalidades.

De forma geral, o projeto completo desta monografia atingiu um nível de viabilidade bastante atrativo, com um investimento total de R\$ 1.752.630,00. Baseado na economia de 72,7% do consumo total com as medidas de eficiência energética, além da usina fotovoltaica, o *Payback* final é de pouco mais de 31 meses – se aplicadas ao mesmo tempo. Entretanto, para se tornar menos impactante nos resultados financeiros da empresa, o mesmo pode ser distribuído em cerca de 96 meses.

Portanto, o estudo e desenvolvimento das soluções de eficiência e a usina se mostram oportunos e importantes para redução dos custos, consumos e demanda referentes à

energia elétrica, além de mitigar os impactos ambientais e diversificação da matriz energética.

As indústrias de forma geral representam uma parcela relevante no total dos consumos de energia elétrica no Brasil, portanto se tornam viáveis as diversas oportunidades de eficiência energética e fontes alternativas de energia elétrica. Além disso, os empreendimentos são impactados diretamente pelos ganhos financeiros e reduções nas emissões de carbono.

REFERÊNCIAS

ACEEE. 2020. American Council for an Energy-Efficient Economy. *Executive Summary the 2020 International Energy Efficiency Scorecard*. [Online] 2020. <https://aceee.org/2020-buildings-summer-study-virtual>.

ALMACO. **Compósitos 2:** tecnologias de processos. [s. d.].

ASSAD, E.D.; RODRIGUES, R.A.; STOÉCIO MAIA, S.; COSTA, L.C. Segurança Alimentar. In: NOBRE, C.A. & MARENGO, J.A. (Org.) **Alterações climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos, SP: INCT, 2017. Cap2.

ATLAS Copco, Compressores com inversor de Frequência Atlas Copco. Disponível em: <<https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/products/air-compressor/oil-injected-rotary-screw-air-compressor/ga-oil-lubricated-screw-compressor-series>>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

CEMIG, Valores de Tarifa e Serviços. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em 25 de maio de 2022.

CORADI, F. E. **Análise energética e econômica na rede de distribuição de ar de uma indústria de autopeças**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2011.

COYLE, E. D.; SIMMONS, R. A. **Understanding the global energy crisis**. Purdue University Press, 2014.

CPFL, Tarifas CPFL Empresas - Paulista. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/empresas/tarifas-cpfl-paulista>>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.
Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos.** 2º. ed. São Paulo: Érica, 2004.

GARCIA, S. Referencias históricas y evolución de los plásticos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v.10, n.1, p. 71-80, 2009.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: USP, 2012.

GONÇALVES, Joana Carla Soares. VIANNA, Nelson Solano. MOURA, Norberto Corrêa da Silva. **Iluminação Natural e Artificial. PROCEL EDIFICA–Eficiência Energética em Edificações.** Rio de Janeiro, 2011.

HOPKINSON,R.G.;PETHERBRIGE,P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural.** Fundação Calouse Gulbernkin, Lisboa, 1975.

IPCC. 2019. [Online] 2019. [Citado em: 24 de Maio de 2022.] <http://www.ipcc.ch/2019>.

Jenne, C.A. e Cattell, R.K. 1983. Structural change and energy efficiency in industry. *Energy Economics*. s.l. : Elsevier, 1983, Vol. 5.2, pp. 114-123.

MARCOVITCH, J. (Coord.) **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades.** São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82 p.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

Patterson, Murray G. 1996. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*. s.l. : Elsevier, 1996, Vol. 24.5, pp. 377-390.

PINTO, Kelly Nanci Carneiro. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica**: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro. São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado) –Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002

PROCEL. 2019. *Eficiência energética na indústria: o que é feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.* 2019.

ROLLINS, J. P. **Compressed Air and Gas Handbook.** Editora Prentice-Hall, New Jersey, EUA. 1989.

RUTHER, R. – **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SILVA, E. C. N. PMR2481 – **Sistemas Fluidomecânicos. Apostila Pneumática.** Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

SILVA, J. C. Notas de aula, Sistemas de Controle Hidráulicos e Pneumáticos. Uberlândia.

SILVA, Mauri Luiz da. **Iluminação: Simplificando o Projeto.** Editora Ciência Moderna 176 páginas, 1ª edição, 2009.

SILVA, N. F. **Compressores Alternativos Industriais: teoria e prática.** Inter ciência: Rio de Janeiro, 2009. 444 p.

STEWART, H. L., **Pneumática & hidráulica.** 3. ed. São Paulo: Humus, 2006.

UNITED NATIONS. 2014. World urbanization prospects. [Online] 2014. <http://goo.gl/tmm5uk>.

Verkuijl, Cleo, et al. 2018. *Aligning fossil fuel production with the Paris Agreement.* Seattle : Stockholm Environment Institute, 2018.

World Energy Council. 2014. Energy Efficiency Indicators. *World Energy Council*.
[Online] 2014. <https://worldenergy.org/data/efficiency-indicators/>.

APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DOS INVESTIMENTOS E RETORNOS OBTIDOS

Mês	Estratégia		Balanço		
	Nome	Investimento	(- Investimentos + Economias)		
0	Tarifa	R\$	-	R\$	-
1	Iluminação	- R\$	23.030,000	- R\$	10.172,200
2				R\$	2.685,600
3				R\$	15.543,400
4				R\$	28.401,200
5				R\$	41.259,000
6				R\$	54.116,800
7				R\$	66.974,600
8				R\$	79.832,400
9				R\$	92.690,200
10				R\$	105.548,000
11				R\$	118.405,800
12				R\$	131.263,600
13				R\$	144.121,400
14				R\$	156.979,200
15				R\$	169.837,000
16				R\$	182.694,800
17				R\$	195.552,600
18				R\$	208.410,400
19				R\$	221.268,200
20				R\$	234.126,000
21				R\$	246.983,800
22				R\$	259.841,600
23				R\$	272.699,400
24				R\$	285.557,200
25				R\$	298.415,000
26				R\$	311.272,800
27				R\$	324.130,600
28				R\$	336.988,400
29				R\$	349.846,200
30				R\$	362.704,000
31				R\$	375.561,800
32				R\$	388.419,600
33				R\$	401.277,400
34				R\$	414.135,200
35				R\$	426.993,000
36				R\$	439.850,800
37	Compressor	- R\$	458.800,000	- R\$	6.091,400

38	R\$	17.340,400
39	R\$	40.772,200
40	R\$	64.204,000
41	R\$	87.635,800
42	R\$	111.067,600
43	R\$	134.499,400
44	R\$	157.931,200
45	R\$	181.363,000
46	R\$	204.794,800
47	R\$	228.226,600
48	R\$	251.658,400
49	R\$	275.090,200
50	R\$	298.522,000
51	R\$	321.953,800
52	R\$	345.385,600
53	R\$	368.817,400
54	R\$	392.249,200
55	R\$	415.681,000
56	R\$	439.112,800
57	R\$	462.544,600
58	R\$	485.976,400
59	R\$	509.408,200
60	R\$	532.840,000
61	R\$	556.271,800
62	R\$	579.703,600
63	R\$	603.135,400
64	R\$	626.567,200
65	R\$	649.999,000
66	R\$	673.430,800
67	R\$	696.862,600
68	R\$	720.294,400
69	R\$	743.726,200
70	R\$	767.158,000
71	R\$	790.589,800
72	R\$	814.021,600
73	R\$	837.453,400
74	R\$	860.885,200
75	R\$	884.317,000
76	R\$	907.748,800
77	R\$	931.180,600
78	R\$	954.612,400
79	R\$	978.044,200

80			R\$ 1.001.476,000
81			R\$ 1.024.907,800
82			R\$ 1.048.339,600
83			R\$ 1.071.771,400
84			R\$ 1.095.203,200
85			R\$ 1.118.635,000
86			R\$ 1.142.066,800
87			R\$ 1.165.498,600
88	Usina	- R\$ 1.270.800,00	- R\$ 81.869,600
89			- R\$ 26.887,800
90			R\$ 28.094,000
91			R\$ 83.075,800
92			R\$ 138.057,600
93			R\$ 193.039,400
94			R\$ 248.021,200
95			R\$ 303.003,000
96			R\$ 357.984,800
