

**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**REVISÃO E ESTUDO DE MELHORIA DO  
SISTEMA ENERGÉTICO  
DA CENTRAL DE COOPERATIVAS – CENTCOOP**

**Autor: João Vítor Silva Garcia  
Orientador: Rafael Amaral Shayani**

**Brasília, DF  
2025**



**JOÃO VÍTOR SILVA GARCIA**

**REVISÃO E ESTUDO DE MELHORIA DO SISTEMA ENERGÉTICO  
DA CENTRAL DE COOPERATIVAS – CENTCOOP**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Rafael Amaral Shayani

**Brasília, DF  
2025**

## CIP – Catalogação Internacional da Publicação\*

Garcia, João.

Revisão e estudo de melhoria do sistema energético da central de cooperativas – CENTCOOP/ João Vítor Silva Garcia. Brasília: UnB, 2025. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2013. Orientação: Dr. Rafael Amaral Shayani.

1. Eficiência Energética. 2. Pegada de Carbono. 3. Cooperativas de Reciclagem I. Shayanni, Rafael. II. REVISÃO E MELHORIA DO SISTEMA ELÉTRICO DA CENTRAL DE COOPARTIVAS – CENTCOOP.

CDU Classificação



**REVISÃO E ESTUDO DE MELHORIA DO SISTEMA ENERGÉTICO  
DA CENTRAL DE COOPERATIVAS – CENTCOOP**

**JOÃO VÍTOR SILVA GARCIA**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 25/02/2025 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dr. Rafael Amaral Shayani, UnB/ FT**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Rudi Henri van Els, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. Dr. Jorge Andres Cormane Angarita UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2025

Esse trabalho é dedicado a todos os gigantes, cujos ombros me serviram de suporte, para que pudesse enxergar mais longe.

“Sonho que se sonha só  
É só um sonho que se sonha só  
Mas sonho que se sonha junto é realidade”

Raul Seixas

## RESUMO

A urgência em tomar medidas para combater a emergência climática, alertada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change), exige soluções que conciliem viabilidade econômica e redução de impactos ambientais. Um dos principais causadores de emissões de gases do efeito estufa é a decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários e lixões. Portanto é fundamental apoiar e incentivar agentes que promovam a reversão ou mitigação dos efeitos gerados pelos padrões de produção e consumo desenfreados atuais, garantindo a competitividade e a sustentabilidade econômica. Este trabalho, integrado a iniciativa Egalitarian e apoiado pela ERASMUS+, tem como objetivo desenvolver um planejamento energético financeiramente viável para a Central de Cooperativas – CENTCOOP – que possibilite: a melhoria contínua do desempenho energético; a redução da pegada de carbono; a diminuição do consumo energético, bem como a redução dos gastos com aquisição de energia. Amparado pelas ISO 14067 e ISO 50001, foram aplicadas metodologias de engenharia econômica e modelagem energética, considerando CAPEX, OPEX e análise de sensibilidade a variáveis financeiras. O uso do software SAM para dimensionamento energético, aliado à análise de curvas de carga, permitiu projetar um cenário otimizado para a adoção de fontes renováveis e medidas de eficiência energética. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade de implementação de uma miniusina fotovoltaica de 182 kWcc que favorece a autossuficiência energética e a eficiência operacional, reforçando a importância do planejamento energético como ferramenta estratégica para cooperativas e organizações de economia solidária. Como consequência dessas mudanças será evitada a emissão de até 11 toneladas de carbono equivalente por ano na atmosfera. Portanto, pode-se reduzir sua dependência da rede elétrica convencional e proporcionar uma maior previsibilidade orçamentária.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Pegada de Carbono. Cooperativas de Reciclagem. Planejamento Energético. Viabilidade Financeira

## ABSTRACT

The urgency in acting against the climate emergency, as warned by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), demands solutions that reconcile economic feasibility with the reduction of environmental impacts. One of the main contributors to greenhouse gas emissions is the decomposition of municipal solid waste in landfills and dumpsites. Therefore, it is essential to support and encourage agents that promote reversing or mitigating the effects generated by the current unsustainable production and consumption patterns while ensuring competitiveness and economic sustainability. This study, integrated into the *Egalitarian* initiative and supported by *Erasmus+*, aims to develop a financially viable energy plan for the Central de Cooperativas – CENTCOOP – that enables: the continuous improvement of energy performance; the reduction of the carbon footprint; the decrease in energy consumption; and the reduction of expenses on energy acquisition. Supported by ISO 14067 and ISO 50001, economic engineering and energy modeling methodologies were applied, considering CAPEX, OPEX, and sensitivity analysis of financial variables. The use of the SAM software for energy sizing, combined with load curve analysis, enabled the projection of an optimized scenario for adopting renewable energy sources and energy efficiency measures. The results demonstrate the feasibility of implementing a 182 kWdc photovoltaic mini-plant that enhances energy self-sufficiency and operational efficiency, reinforcing the importance of energy planning as a strategic tool for cooperatives and solidarity economy organizations. As a consequence of these changes, up to 11 tons of CO<sub>2</sub> per year equivalent emissions will be avoided. Thus, CENTCOOP can reduce its dependence on the conventional power grid and provide greater budget predictability.

**Keywords:** Energy Efficiency. Carbon Footprint. Recycling Cooperatives. Energy Planning. Financial Feasibility

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Lista de cooperativas e número de catadores.....                 | 16 |
| Tabela 2 - Maquinário industrial .....                                      | 21 |
| Tabela 3 - Demais equipamentos elétricos conectados à rede elétrica. ....   | 23 |
| Tabela 4 - Resumo dos equipamentos analisados.....                          | 25 |
| Tabela 5 - Consumo de energia ativa e demanda CENTCOOP. ....                | 25 |
| Tabela 6 - Consumo reativo excedente e demanda reativa excedente.....       | 26 |
| Tabela 7 - Consumo Médio .....  | 27 |
| Tabela 8 – Modelos de lâmpadas para iluminação pública. ....                | 31 |
| Tabela 9 – Modelos de lâmpadas tubulares 1 .....                            | 33 |
| Tabela 10 – Modelos de lâmpadas tubulares 2.....                            | 34 |
| Tabela 11 – Resumo do consumo.....  | 37 |
| Tabela 12 – Resultado da simulação da miniusina fotovoltaica. ....          | 41 |
| Tabela 13 – Economia anual de energia.....                                  | 42 |
| Tabela 14 – Inputs análise financeira miniusina fotovoltaica.....           | 44 |
| Tabela 15 – Fluxo de caixa miniusina fotovoltaica .....                     | 45 |
| Tabela 16 – Indicadores financeiros miniusina fotovoltaica .....            | 46 |
| Tabela 17 – Inputs substituição de lâmpadas tubulares.....                  | 47 |
| Tabela 18 – Custo total de lâmpadas tubulares .....                         | 47 |
| Tabela 19 - Indicadores financeiros substituição da Iluminação .....        | 48 |
| Tabela 20 – Indicadores financeiros substituição da iluminação externa..... | 48 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Ciclo PDCA .....                                      | 7  |
| Figura 2 – Lixão da Estrutural .....                             | 13 |
| Figura 3 - Esteira de triagem de resíduos .....                  | 14 |
| Figura 4 - Imagem de satélite do CENTCOOP.....                   | 15 |
| Figura 5 – Centro de triagem.....                                | 17 |
| Figura 6 - Descrição do processo de triagem.....                 | 18 |
| Figura 7 - Placa identificação danificada.....                   | 20 |
| Figura 8 - Extrusora de EPS.....                                 | 20 |
| Figura 9 - Gráfico comparativo das propostas de intervenção..... | 36 |
| Figura 10 - Georreferenciamento CENTCOOP .....                   | 37 |
| Figura 11 – Produção mensal de energia elétrica AC .....         | 41 |

## LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CENTCOOP – Central de Cooperativas
- CFP – Carbon Footprint (Pegada de Carbono)
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono
- CTR – Centro de Triagem de Resíduos
- DF – Distrito Federal
- EB – Eletricidade Básica
- EPS – Poliestireno Expandido
- ERASMUS+ – Programa Estudantil Egalitarian
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- GNV – Gás Natural Veicular
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
- ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PDCA – Plan, Do, Check, Act (Planejar, Fazer, Verificar, Agir)
- PM Canvas – Project Model Canvas
- PMO – Project Management Office (Escritório de Gerenciamento de Projetos)
- PSP – Projetos de Sistema de Produção
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SAM – System Advisory Model
- SIN – Sistema Interligado Nacional
- SLU – Serviço de Limpeza Urbana
- TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. JUSTIFICATIVA.....   | 2         |
| 1.2. OBJETIVOS.....   | 3         |
| 1.2.1 Objetivo geral .....  | 3         |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....   | 3         |
| 1.3. ESTRUTURA DO TEXTO.....  | 4         |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....  | 6         |
| 2.2. PEGADA DE CARBONO E METODOLOGIAS DE CÁLCULO .....                            | 7         |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1. METODOLOGIA DO PROJETO DE ENGENHARIA.....                                    | 9         |
| 3.2. NATUREZA DO PROJETO .....  | 9         |
| 3.3. CONTEXTO .....   | 9         |
| 3.4. COLETA DE DADOS.....   | 9         |
| 3.5. ANÁLISE DE DADOS E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO .....                            | 10        |
| <b>4. DESCRIÇÃO DA CENTRAL DE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS DO DF ...</b> | <b>13</b> |
| 4.1. HISTÓRICO .....  | 13        |
| 4.2. DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....   | 14        |
| 4.3. PROCESSOS DE TRIAGEM.....  | 16        |
| 4.4. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E O CONSUMO DE ENERGIA .....                          | 19        |
| 4.4.1. Maquinário .....   | 19        |
| 4.4.2. Demais Equipamentos Elétricos .....  | 22        |
| 4.5. CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA .....                                     | 25        |
| <b>5. ERASMUS+ EGALITARIAN .....</b>  | <b>28</b> |
| 5.1. HISTÓRICO .....  | 28        |
| 5.2. DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS .....  | 28        |
| 5.3. SEMI AUTOMATED SORTING OF URBAN SOLID WASTE.....                             | 29        |
| <b>6. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO .....</b>   | <b>30</b> |
| 6.1. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....                                       | 30        |
| <b>6.1.1. Substituição de maquinário da linha de produção .....</b>               | <b>30</b> |
| <b>6.1.2. Substituição de iluminação externa .....</b>                            | <b>31</b> |
| <b>6.1.3. Substituição De Iluminação Interna.....</b>                             | <b>32</b> |
| <b>6.1.4. Equipamentos de menor consumo.....</b>                                  | <b>36</b> |
| 6.2. IMPLEMENTAÇÃO DE miniusina FOTOVOLTÁICA.....                                 | 36        |
| 6.3. ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....                    | 42        |
| 6.4. REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> RESULTANTE DAS INTERVENÇÕES .....    | 42        |
| 6.5. Potencial de emissão de créditos de carbono .....                            | 43        |
| <b>6.6. Análise de viabilidade Econômica.....</b>                                 | <b>44</b> |
| <b>7. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>   | <b>54</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>57</b> |
| ANEXO A - SIMULAÇÃO SAM.....  | 57        |
| ANEXO B – ANÁLISES FINANCEIRAS .....  | 60        |

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade humana tem provocado, inequivocamente, mudanças climáticas, cujos efeitos já são visíveis e sentidos em diversas partes do mundo. Grande parte dessa emergência climática é atribuída às emissões de gases do efeito estufa (GEE), uso indiscriminado de recursos naturais e aos padrões insustentáveis de produção e consumo (CALVIN et al., 2023, p.4).

A crise climática é uma realidade que pode gerar consequências ainda mais severas, dada a rapidez com que a situação tem se agravado nos últimos anos. Muitas dessas consequências, embora previstas pela comunidade científica e passíveis de serem evitadas, agora parecem inevitáveis, e em cenários mais otimistas, poderão apenas ser mitigadas (TOLLEFSON, 2022).

Fatores socioeconômicos e geográficos tornam a situação ainda mais grave, podendo impactar de maneira acentuada mais de 3,6 bilhões de pessoas. São exemplos latentes desses efeitos, as enchentes enfrentadas no Rio Grande do Sul no ano de 2024 e o grande número de incêndios florestais enfrentados no mesmo ano (TOLLEFSON, 2022).

De acordo com Mesquita et al. (2023) um grande causador de emissões de gases do efeito estufa é a decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários e lixões. A destinação inadequada de materiais que poderiam ser reutilizados ou reciclados representa um desperdício significativo, tanto de recursos materiais quanto energéticos.

A Associação de Resíduos e Meio Ambiente (2023) estima que cada habitante do Brasil produziu em 2022 uma média de 380 kg de resíduos sólidos urbanos (RSU). No total, a organização estima que sejam produzidos 77 milhões de toneladas de RSU. Entretanto, apenas 13% do volume total foi encaminhado para a reciclagem, apesar de se estimar que o percentual do RSU com potencial para ser reciclado é de 30% a 40% (SILVA, 2017, p. 9)

O Brasil está anos de desenvolvimento atrás de regiões como Austrália e Nova Zelândia ou a Europa Ocidental no qual são reciclados 54% e 56%, respectivamente (ONU, 2024). É preciso destacar que há fatores socioeconômicos extremamente relevantes que tornam a comparação discrepante, mas é necessário reconhecer a necessidade de se avançar em quesitos como políticas públicas, educação da população e incentivos comerciais à reciclagem.

Contudo, onde existe desafio há também oportunidades de melhorar o sistema em desenvolvimento e conseqüentemente, geração de novos empregos e combate à desigualdade social. Segundo Webster (2023) a implementação de práticas de economia circular pode levar a vários benefícios, incluindo melhoria nos padrões de vida dos catadores, melhoria da saúde pública, oportunidades de emprego formal e redução danos ao meio ambiente.

Nesse contexto, é crucial a atuação de agentes que promovam a redução de emissões de GEE como as cooperativas de reciclagem. Elas são responsáveis por mitigar os impactos ambientais gerados pela alta produção de resíduos sólidos no Brasil, atuando para reduzir a impactos gerados pelo descarte inapropriado de materiais reciclados. Seu papel também é fundamental na geração de empregos e incentivo a práticas típicas da economia circular, uma vez que também reduzem a necessidade de produzir novas matérias primas (SOUZA et al., 2012).

Embora desempenhem papel crucial na sociedade brasileira, as cooperativas de reciclagem enfrentam dificuldades financeiras, falta de reconhecimento de sua importância pelo restante da sociedade e dificuldades criadas pelo descaso da população perante o descarte de resíduos sólidos. É comum encontrar contaminações por animais mortos, entulho e objetos cortantes, entre outros.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

A missão da Universidade de Brasília é “Ser uma universidade inovadora e inclusiva, comprometida com as finalidades essenciais de ensino, pesquisa e extensão, integradas para a formação de cidadãos e cidadãs éticos e qualificados para o exercício profissional e empenhados na busca de soluções democráticas para questões nacionais e internacionais, por meio de atuação de excelência” (Universidade de Brasília, 2024). Entende-se que uma solução democrática é uma solução que parta do povo para o povo. Sendo assim, a universidade é uma entidade que está integrada a sociedade e deve dedicar seus esforços para melhorar aspectos coletivos da sociedade.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de engenharia, estabelecidas pela Resolução CNE/CES nº 2 (2019) destacam que o perfil do egresso dos cursos de engenharia possui, dentre outras, as seguintes características:

- a) ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia;

- b) considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho;
- c) atuar com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável.

Portanto, o projeto em desenvolvimento, alinhado com as diretrizes curriculares da Engenharia e da Missão da Universidade de Brasília, busca promover o desenvolvimento sustentável e a transformação social no escopo do programa estudantil ERASMUS+ EGALITARIAN. Promovendo-se a colaboração com a Central de Cooperativas de Materiais Recicláveis do DF (CENTCOOP), é possível aliar os conhecimentos práticos e profissionais das cooperativas de reciclagem e visão técnica e analítica característica do ambiente acadêmico, promovendo-se soluções que otimizem os processos e melhore a qualidade de vida dos trabalhadores envolvidos.

Embora a CENTCOOP seja um dos maiores promotores de reciclagem no Distrito Federal, segundo dados do Relatório Anual de 2023 (SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA, 2024) comprando 13.736,37 toneladas de material reciclado, totalizando 34,58% do material reciclado pelo SLU, ainda há espaço para otimização de seus processos e problemas que limitam seu crescimento, como por exemplo maquinário parado por falta de capacidade da rede elétrica. Sendo assim justifica-se um projeto acadêmico que forneça meios para solucionar problemas e melhorar o ciclo produtivo do CENTCOOP, maximizando seus lucros.

## 1.2. OBJETIVOS

A seguir apresentam-se os objetivos geral e específicos do projeto.

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um planejamento energético financeiramente viável para a Central de Cooperativas – CENTCOOP – que possibilite: a melhoria contínua do desempenho energético; a redução da pegada de carbono; a diminuição do consumo energético e a redução dos gastos com aquisição de energia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Entender o problema. Realizar entrevistas, reuniões e visitas de campo para compreender as necessidades do usuário.
2. Realizar levantamento de informações técnicas já existentes e disponíveis com a direção da CENTCOOP, como por exemplo: projetos e diagramas elétricos; fichas técnicas do maquinário instalado; faturas de energia

elétrica; fichas técnicas de maquinário não instalado ou em processo de aquisição.

3. Realizar levantamento de informações técnicas indisponíveis como por exemplo: equipamentos instalados na rede que não estão previstos em projeto; fichas técnicas de equipamentos que não pertençam à direção da CENTCOOP.
4. Mapear os problemas ou potenciais oportunidades de melhoria no sistema energético da CENTCOOP.
5. Criar propostas de intervenção ou melhoria dos sistemas energéticos da CENTCOOP.
6. Desenvolver estudo para implementação de sistema de geração de energia que atenda às necessidades das cooperativas e traga benefícios financeiros, técnicos e ambientais.
7. Elaborar análise de viabilidade técnico econômica para as melhorias propostas.
8. Calcular redução da pegada de carbono e posterior venda de créditos de carbono.

### 1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

Capítulo 1 – Introdução: Apresenta o contexto e a justificativa do estudo, os objetivos gerais e específicos e a relevância do projeto para a CENTCOOP.

Capítulo 2 – Referencial Teórico: Explora os conceitos fundamentais para o desenvolvimento da proposta, incluindo eficiência energética, pegada de carbono e metodologias para cálculo de emissões, créditos de carbono e análise de viabilidade financeira.

Capítulo 3 – Metodologia: Descreve os procedimentos adotados para a coleta e análise de dados, detalhando a abordagem utilizada para avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da proposta.

Capítulo 4 – Descrição da Central de Cooperativas: Apresenta a estrutura e o funcionamento da CENTCOOP, incluindo seus processos operacionais e o consumo energético associado às atividades realizadas.

Capítulo 5 – Programa ERASMUS+ Egalitarian: Contextualiza a participação do projeto no programa internacional, destacando sua relação com as diretrizes do Acordo de Paris e os desafios enfrentados pelas cooperativas de reciclagem.

Capítulo 6 – Proposta de Intervenção: Expõe as medidas recomendadas para otimização energética da CENTCOOP, incluindo a substituição de equipamentos, o dimensionamento de uma miniusina fotovoltaica e a análise dos impactos ambientais e financeiros das soluções propostas.

Capítulo 7 – Resultados Esperados: Apresenta as estimativas de economia energética, redução de emissões e impacto socioeconômico decorrentes da implementação das intervenções propostas.

Capítulo 8 – Conclusão: Discute os principais aprendizados do estudo, as contribuições do trabalho para as cooperativas e sugestões para futuras melhorias.

Capítulo 9 – Bibliografia: Lista as referências utilizadas ao longo do trabalho, seguindo as normas acadêmicas adotadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

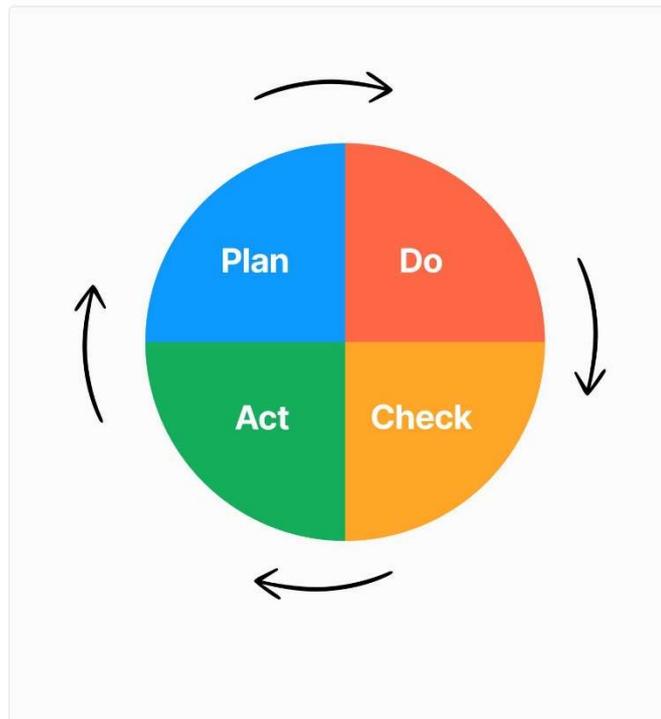
### 2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito de eficiência energética, em termos gerais, é utilizar o mínimo de energia possível para obter-se um determinado resultado. Entretanto, o conceito pode-se tornar vago uma vez que as métricas para medir determinados resultados esperados muitas vezes são subjetivas, e gerar indicadores universais é um desafio (Dunlop, T. 2022).

Para contextos mais específicos como setores da indústria ou ambientes fabris é possível determinar indicadores quantitativos como taxas de produtividade por unidade de energia utilizada ou energia utilizada para produzir uma unidade de produto. Outra maneira de avaliar a eficiência energética de um determinado processo, produto ou serviço é quantificar a quantidade de gases do efeito estufa (GEE) emitidos por unidade produzida (Diaz et al.2013).

Conforme explicam Hasan e Trianni (2020) a utilização otimizada de energia é fundamental para se reduzir os custos de produção e as emissões de gases do efeito estufa relacionadas ao uso dessa energia, mantendo-se inalterado o nível de produtividade.

Uma maneira de se aplicar o conceito de eficiência energética é a adoção da ISO 50001. A norma estabelece um Sistema de Gestão de Energia baseado no ciclo de Deming ou plano PDCA (Figura 1), sigla correspondente a Planejar (“Plan”), Fazer (“Do”), Verificar (“Check”), Agir (“Act”). A etapa de planejamento é composta pela criação de planos de ação e políticas para a redução do gasto energético. A etapa “Do” é composta pela implementação das políticas elaboradas. A etapa de checagem é composta pelo monitoramento e medição do impacto das políticas implementadas. Por fim, a etapa de ação simboliza a tomada de decisão para melhorar continuamente o Sistema de Gestão da Energia, sendo também marcado pelo início de um novo ciclo de melhoria (BARROS et al., 2015, p. 128).



**Figura 1 - Ciclo PDCA**

Fonte: autor.

Vale destacar que a obtenção da ISO 50001 acarreta diversas vantagens competitivas às instituições que a obtêm. Dentre essas vantagens estão: eficiência energética aprimorada; redução de custos de produção; redução das emissões de CO<sub>2</sub>; e reconhecimento internacional devido à relevância mundial da ISO (PUSHPO; UDDIN, 2023, p. 983).

## 2.2. PEGADA DE CARBONO E METODOLOGIAS DE CÁLCULO

A pegada de carbono é uma métrica utilizada para quantificar o impacto da atividade humana baseando-se em emissões CO<sub>2</sub>. Esse indicador corresponde a quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente a quantidade de GEE total emitidos durante o ciclo de vida de um produto ou serviço, conforme destaca Fantozzi (2016, p. 285). O conceito deriva do “environmental footprint” ou pegada ecológica que é um indicador que mede a área de terra produtiva necessária para viabilizar determinada atividade econômica ou suprir as necessidades de uma determinada população (WACKERNAGEL; REES, 1995, p.9). Os termos podem eventualmente ser confundidos uma vez que a palavra pegada remete marca deixada por algo ou alguém no solo, e seria mais apropriado utilizar outra nomenclatura que remeta a peso ou massa de CO<sub>2</sub> emitidas na atmosfera (HAMMOND, 2007, p. 256).

Vale destacar que a utilização do termo emissões de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) passou a ser utilizada como forma de padronização para fins de comparação e quantificação, ganhando importância e popularidade a partir do relatório do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas de 1990. Essa métrica equipara o potencial de aquecimento global de diferentes gases do efeito estufa em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, sendo definida na decisão 2/COP 3 conforme destaca o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM (2023).

Um procedimento para quantificar a pegada de carbono de um determinado produto, considerando todo o seu ciclo de vida, é a metodologia proposta pela ISO 14067:2018. Nessa norma são padronizados meios de se calcular às emissões de CO<sub>2</sub> equivalente às emissões de gases do efeito estufa.

O cálculo da pegada de carbono de um produto (CFP) leva em consideração a aquisição dos insumos para produzir um produto, transporte e entrega, uso e descarte. O CFP é um parâmetro unitário e os resultados da pegada de carbono total ou parcial são obtidos multiplicando-se essa métrica pelo montante produzido ou consumido (ISO, 2018, p. 11).

O consumo de energia elétrica é um dos maiores responsáveis por emissões de GEE devido à natureza poluente das fontes de geração de energia elétrica, considerando a avaliação do ciclo de vida do produto (ACV). As emissões são provenientes da queima de combustíveis fósseis, biocombustíveis – impacto direto – ou como consequência da fabricação, transporte, instalação e manutenção das usinas de energia – impacto indireto. (HAQUE, 2020).

Entretanto, diferentes fontes de geração de energia elétrica possuem quantidades de emissões de gases do efeito estufa por quantidade de energia produzida distintas, mensuradas em quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente por watt hora (CO<sub>2</sub>/Wh) ou algum múltiplo dessa unidade de medida como toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por megawatt hora (tCO<sub>2</sub>/MW<sub>21</sub>).

h).

### **3. METODOLOGIA**

O capítulo a seguir é dedicado a explicar os métodos e procedimentos utilizados ao longo do projeto.

#### **3.1. METODOLOGIA DO PROJETO DE ENGENHARIA**

Este projeto visa desenvolver um planejamento energético viável para a CENTCOOP. Para isso, foram coletados e analisados dados quantitativos e qualitativos provenientes de múltiplas fontes, incluindo medições, entrevistas semiestruturadas e levantamento de documentação técnica. As informações foram processadas para avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental das soluções propostas.

#### **3.2. NATUREZA DO PROJETO**

O projeto é de natureza aplicada e utilizou-se o método pesquisa-ação, é uma abordagem metodológica que combina pesquisa e intervenção, buscando não apenas entender um problema, mas também propor e implementar soluções de forma colaborativa.

#### **3.3. CONTEXTO**

O projeto foi desenvolvido no contexto da Central de Cooperativas – CENTCOOP, no âmbito do programa ERASMUS+ Egalitarian, que reúne estudantes da Universidade de Brasília, Universidade de Ciências Aplicadas de Saxion, Universidade do Minho e Universidade de Aalborg. O programa tem como objetivo desenvolver soluções alinhadas às metas do Acordo de Paris para 2030. A atuação junto à CENTCOOP possibilitou acesso a dados reais e interação com os agentes envolvidos na operação da cooperativa.

#### **3.4. COLETA DE DADOS**

A coleta de dados incluiu o levantamento de informações históricas sobre consumo de energia elétrica da CENTCOOP, análise tarifária e mapeamento do maquinário conectado à rede elétrica. Foram identificados equipamentos relacionados à iluminação, climatização, refrigeração e carga produtiva. Como não havia um inventário centralizado, foi necessária a inspeção in loco para catalogação do maquinário e obtenção de fichas técnicas.

Além disso, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com gestores e trabalhadores da cooperativa para compreender padrões de uso energético e desafios operacionais. Também foram consultados os fatores médios de emissão de CO<sub>2</sub> da

energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) para comparação com os níveis de emissão estimados para uma possível miniusina fotovoltaica.

### 3.5. ANÁLISE DE DADOS E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Os dados coletados foram analisados para caracterizar o perfil de consumo energético da CENTCOOP e identificar oportunidades de otimização. A potência instalada dos equipamentos foi avaliada em relação ao consumo real para detectar ineficiências.

Com base nessa análise, foram investigadas possíveis intervenções, incluindo substituição de equipamentos por versões mais eficientes e a viabilidade da implementação de uma miniusina fotovoltaica. Para esta última, foi realizado um dimensionamento considerando o histórico de consumo, disponibilidade de espaço e retorno econômico.

Por fim, foi calculada a redução potencial das emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir da instalação da miniusina, utilizando coeficientes médios de emissão do SIN e dados do consumo projetado.

**Quadro 1 - Atividades Propostas**

| <b>Atividade</b>  | <b>Descrição</b>  |
|---|---|
| Planejamento das atividades                             |   |
| Levantamento de informações já existentes (plantas etc) | Obtenção dos projetos/diagramas elétricos, Levantamento de fichas técnicas do maquinário instalado e Dispositivos de Segurança Presentes                      |
| Mapeamento de problemas                                 | Conexões irregulares, Necessidade de novos dispositivos de segurança e Necessidade de adequações  |
| Levantamento de carga                                   | Estudo do maquinário utilizado, Iluminação, Equipamentos de menor consumo, Perdas elétricas (Joule), Perdas elétricas (fuga de carga)                         |
| Estudo do maquinário a ser implantado                   | Levantamento de fichas técnicas do maquinário ocioso, Levantamento de fichas técnicas do maquinário em processo de aquisição, Estimativa da frequência de uso |
| Expansão das plantas existentes                         | Previsão de instalação de novas esteiras de produção  |
| Expansão das plantas existentes                         | Estudo para instalação de novos galpões   |
| Avaliação de espaço disponível                          |   |

|   |  |
|---|--|
| Projeto elétrico  | Diagramas unifilares, Diagramas de interligação, Determinação de especificações técnicas, Dispositivos de Segurança, Sistemas de Monitoramento |
| Seleção de equipamentos   | Painéis solares, Inversores, Projeto da estrutura  |
| Levantamento de licenças e autorizações                           | Alvará de Construção ou Licença de Instalação, Autorização Neoenergia, Autorização IBRAM, Autorização Corpo de Bombeiros                       |
| Emissões Atuais de CO <sub>2</sub> (Baseado na Matriz Energética) | Pesquisa e análise das emissões atuais de CO <sub>2</sub> relacionadas ao consumo energético, utilizando dados da matriz energética do DF.     |
| Identificação de Medidas de Eficiência Energética                 | Identificação de tecnologias e estratégias para melhorar a eficiência energética nos processos da cooperativa.                                 |
| Estimativa da Redução de Consumo e Emissões de CO <sub>2</sub>    | Estimativa quantitativa da redução no consumo de energia e emissões de CO <sub>2</sub> com base nas medidas de eficiência propostas.           |
| Cálculo da Redução da Pegada de Carbono                           | Cálculo detalhado da redução da pegada de carbono considerando as intervenções propostas na cooperativa.                                       |
| Avaliação Econômica e Ambiental                                   | Análise do custo-benefício das medidas e avaliação do impacto ambiental das reduções de carbono obtidas.                                       |
| Simulações de Redução de Consumo e Emissões de CO <sub>2</sub>    | Realização de simulações utilizando os dados das intervenções para prever a redução de consumo e emissões.                                     |
| Impacto Econômico, Ambiental e Social                             | Discussão sobre os impactos econômicos, ambientais (pegada de carbono) e sociais esperados com a implementação das medidas.                    |
| Discussão do Impacto Ambiental e Econômico                        | Redação da discussão sobre os impactos ambientais e econômicos das intervenções aplicadas na CENTCOOP DF.                                      |
| Perspectivas Futuras  | Elaboração das perspectivas futuras, com ênfase na continuidade da redução das emissões e aprimoramento de eficiência energética.              |
| Revisão Geral e Escrita do Texto                                  | Verificação da conformidade com as normas ABNT, incluindo formatação de referências, tabelas e figuras.  |

|  |   |
|--|---|
| Inserção de Tabelas, Gráficos e Anexos | Inserção e revisão de gráficos, tabelas e anexos e simulações de redução de consumo energético e cálculos de pegada de carbono. |
| Revisão Final e Submissão              | Revisão final e preparação para submissão do TCC. Revisão de todos os detalhes e orientações para entrega final.                |

Fonte: autor.

## 4. DESCRIÇÃO DA CENTRAL DE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS DO DF

### 4.1. HISTÓRICO

No ano de 2018 foi fechado o Lixão da Estrutural (Figura 2), que na época era considerado o maior lixão da América. Ele ficava localizado a menos de 15 km do centro político do país. Lá o trabalho de catação era extremamente precário e insalubre, ocasionando diversos acidentes, alguns fatais. Além disso havia presença de crianças, pessoas morando no lixão e um enorme impacto ambiental devido à falta de processos e estrutura.



**Figura 2 – Lixão da Estrutural**

Fonte: Correio Braziliense

Para tornar o processo de catação mais seguro, salubre e eficiente e fomentar a criação de empregos formais, foram criados os Centros de Triagem de Resíduos. O CENTCOOP foi inaugurado no ano de 2020 (SLU, 2015, p.3) como mostra na Figura 3.



**Figura 3 - Esteira de triagem de resíduos**

Fonte: CENTCOOP

#### 4.2. DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES

A CENTCOOP está localizada no Pátio Ferroviário de Brasília, situada entre a EPIA, EPCL, EPAC e SAAN na cidade de Brasília – DF conforme descrição na Figura 4. O complexo é destinado para triagem e coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. O projeto previa a construção de cinco galpões destinados a triagem de resíduos sólidos.



**Figura 4 - Imagem de satélite do CENTCOOP**

Fonte: Google Maps.

Inicialmente foram construídos três galpões no complexo para os fins citados anteriormente. Dois centros de triagem de nomenclatura CTR1 e CTR2 e um prédio destinado a funções administrativas e comerciais – o Centro de Comercialização. Atualmente está sendo construído mais um centro de triagem. Esse novo centro possui projeto e design próprio.

Nos centros de triagem estão instaladas esteiras destinadas à coleta seletiva de materiais recicláveis, prensas e outros equipamentos próprios da coleta seletiva. No prédio administrativo, concentram-se os materiais que foram beneficiados e ainda não foram comercializados, mas também é equipado com maquinário destinado ao beneficiamento dos materiais coletados. Pretende-se instalar outros maquinários destinados ao beneficiamento dos materiais triados no Centro de Comercialização.

A CENTCOOP está conectada à rede elétrica em uma tensão de 13,8 kV. A conexão de entrada com a rede é feita a partir de uma cabine primária destinada à conexão com a rede externa e distribuição para os galpões e iluminação externa.

Cada edifício possui um transformador próprio, portanto, não há uma subestação dedicada ao complexo. Para o prédio administrativo foi selecionado um

transformador de 150 kVA enquanto os CTRs possuem um transformador de 225 kVA cada.

#### 4.3. PROCESSOS DE TRIAGEM

Atualmente, 10 cooperativas estão instaladas no CENTCOOP, totalizando 367 catadores conforme detalhado na Tabela 1. Há também mais 8 trabalhadores que atuam em funções administrativas e são ligados a Central de Cooperativas diretamente.

**Tabela 1 – Lista de cooperativas e número de catadores**

| COOPERATIVA/ASSOCIAÇÃO | NÚMERO DE CATADORES |
|------------------------|---------------------|
| CTELS                  | 32                  |
| Flor do Cerrado        | 10                  |
| Nova Superação         | 36                  |
| Reciclo                | 34                  |
| Vencendo Obstáculos    | 13                  |
| Coorace                | 35                  |
| Ambiente               | 111                 |
| Construir              | 31                  |
| Coopernoos             | 40                  |
| Recicla Brasília       | 25                  |
| Total                  | 367                 |

Fonte: Serviço de Limpeza Urbana (2024)

Durante a primeira visita realizada as instalações, os alunos do projeto Egalitarian, guiados pelo Prof. Dr. Paulo Celso dos Reis Gomes, que já foi diretor do SLU e é um dos idealizadores do projeto do CENTCOOP, tiveram a oportunidade de ter o primeiro contato com as instalações e puderam ver na prática como são os processos de triagem.

Os caminhões contendo resíduos sólidos urbanos entram pela portaria da CENTCOOP, onde são pesados e é feito os registros administrativos necessários. Os caminhões se encaminham para o fundo dos galpões onde começa o processo de triagem. Lá a matéria prima é despejada e fica armazenada a céu aberto até que seja direcionada às esteiras. Os caminhões então retornam à portaria para serem pesados novamente. A diferença entre as aferições iniciais e finais, respectivamente, é igual a massa total processada por cada centro de triagem.

Em seguida, empilhadeiras munidas de pás carregadeiras adaptadas, empurram o material para a entrada da esteira. Essas máquinas utilizam como combustível GNV. Essa escolha, de acordo com os funcionários do CENTCOOP foi

feita devido a confiabilidade e abastecimento rápido, característico de maquinário movido a gás.

O material, que está próximo à esteira inclinada, passa pela primeira etapa do processo em que há intervenção manual. Catadores rasgam os sacos e despejam o conteúdo na esteira de triagem. Os sacos são coletados, diferenciados por cor, normalmente azul, branca ou preta para serem também reciclados. O material sobe para o segundo andar onde estão os demais catadores.

No segundo andar há uma sequência de catadores, cada um responsável pela coleta de um tipo de material específico, que remove a unidade de material da esteira e o despeja em um vão que está diretamente acima de uma “big bag”, um grande saco destinado a armazenagem de curto e médio prazo e ao transporte dos materiais coletados que fica no andar inferior. Na Figura 5 podemos observar o térreo e o segundo andar.



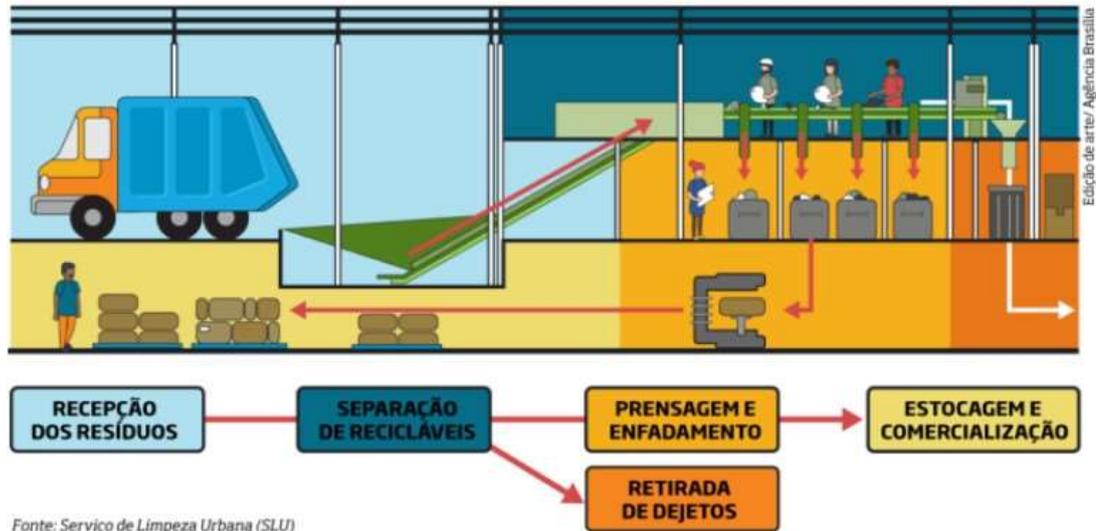
**Figura 5 – Centro de triagem**

Fonte: Autor.

No fim da esteira está um último recipiente, normalmente uma lixeira industrial sobre rodas que recebe o material rejeitado. O rejeito é coletado pelo SLU e destinado a um aterro sanitário, onde se completa o ciclo de vida daquele produto.

O material coletado é então prensado no primeiro andar e transportado ao centro de comercialização onde são armazenadas e posteriormente entregues aos clientes finais, conforme descrito na figura. Vale ressaltar que a Central de

Cooperativas opera como um intermediador que compra o material das cooperativas de reciclagem e os vende para empresas ou outras cooperativas de reciclagem interestaduais, e assim, foi o maior comprador de materiais do DF no ano de 2023 (SLU, 2024, p.100).



**Figura 6 - Descrição do processo de triagem**

Fonte: Serviço de Limpeza Urbana - SLU

Na Central de Cooperativas, há cooperativas que somente coletam resíduos sólidos, somente fazem a triagem de resíduos sólidos ou que realizam ambas as atividades. Cada esteira é operada por uma cooperativa, em dois turnos, matutino/vespertino e vespertino/noturno, pelas seguintes entidades: Ambiente, Coopernoes, Construir, Recicla Brasília e Coorace. As cooperativas são responsáveis pelos processos realizados em cada esteira, pelos catadores e pela manutenção dos motores, prensas hidráulicas e carregadeiras utilizadas no processo de triagem.

No projeto dos CTR's idealizava-se duas esteiras de processamento por prédio. A necessidade de expansão, aliada a falta de recursos fez com que uma esteira a mais fosse instalada nas premissas do CTR1. O primeiro andar que era destinado a apenas processar o material que fosse coletado no segundo andar despejado dentro das "big bags" ou da lixeira para o rejeito.

Essa mudança de projeto torna a operação daquela esteira em particular única. Esse processo é mais manual e foge dos padrões do CENTCOOP. Há também uma maior aglomeração de material naquele galpão pois o espaço que antes era destinado apenas ao processamento agora concorre com mais uma esteira. Entretanto, aquela foi a forma com que as cooperativas encontraram para contornar a demanda represada por mais uma esteira que ainda não veio a ser construída.

Durante as visitas em mais de uma oportunidade as esteiras estavam paradas recebendo manutenção corretiva de emergência com os catadores esperando o reparo ser concluído. O mesmo acontece com as prensas e com as empilhadeiras. Um técnico de manutenção que preferiu não se identificar alegou que não há um plano de manutenção para os equipamentos.

Foi realizada uma segunda visita para entender melhor os processos, levantar informações técnicas, e mapear o maquinário presente nas instalações, porém sem realizar nenhum levantamento técnico do maquinário ou quaisquer equipamentos conectados à rede elétrica.

#### 4.4. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E O CONSUMO DE ENERGIA

Atualmente as tarifas de energia elétrica e água da CENTCOOP são inteiramente subsidiadas pelo SLU. Entretanto há um receio de que essa situação possa não ser permanente e que venha a impactar as finanças das cooperativas no futuro.

A divisão das faturas de água, luz e gás natural são centralizadas na administração do CENTCOOP, e as que não são subsidiadas são divididas proporcionalmente com a produção de cada cooperativa de reciclagem. Esse valor é então descontado da receita oriunda da venda de material ao CENTCOOP.

##### 4.4.1. Maquinário

Inicialmente, esperava-se que o CENTCOOP possuísse uma base de dados contendo todos os equipamentos de seu inventário, porém essa presunção estava errada. Boa parte dos equipamentos foram cedidos pelo SLU e não havia um local centralizando essas informações.

Para sanar essa necessidade, foram realizadas 4 visitas técnicas no qual toda a fábrica foi inspecionada e cada maquinário no ciclo produtivo foi registrada em um bloco de anotações, fotografada e posteriormente consolidada na tabela 1. Essa tabela contém a localização do maquinário, o tipo de maquinário, e sua potência elétrica, corrente nominal e tensão de alimentação.

Todo o equipamento elétrico possui uma placa de identificação contendo informações técnicas, porém devido ao uso intensivo desses equipamentos, algumas placas já não eram mais legíveis (Figura 6) ou não estavam com fácil acesso. Foi preciso realizar pesquisas em sites de fabricantes para identificar os modelos de prensas verticais hidráulicas e quais motores elétricos estavam instalados nelas. A única fonte de consumo desses equipamentos é o motor que alimenta a parte

hidráulica, portanto, pode-se verificar que o consumo da prensa é o consumo do próprio motor.



**Figura 7 - Placa identificação danificada.**

Fonte: Autor.

A extrusora de poliestireno expandido (EPS), equipamento (Figura 7) utilizado para triturar, derreter EPS e moldá-lo em torrões de menor volume, que são mais práticos para fins de comercialização era um equipamento complexo com diversos componentes elétricos e, portanto, a obtenção de suas informações técnicas não estava disponível para consulta no equipamento sem desmontá-lo. Foi solicitado à CENTCOOP a ficha técnica do equipamento, que não possuía a informação. Como o maquinário é de uso muito específico e restrito, não havia similares para comparação. O fabricante então foi contatado para obter as informações desejadas, e após 10 dias, a informação foi enviada.

**Figura 8 - Extrusora de EPS.**



Fonte: Autor.

A Tabela 2 contém levantamento realizado com as informações do local de instalação, tipo de equipamento, finalidade do equipamento, tensão e potência nominal.

**Tabela 2 - Maquinário industrial**

| Local | Equipamento                                   | Descrição          | Tensão (V) | Potência (kW) |
|-------|---|--------------------|------------|---------------|
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 1          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 1          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 2          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 2          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 3          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 3          | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR1  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR1  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico NOVA IP55 5CV 4P     | Exaustor Esteira 1 | 380        | 3,6           |
| CTR1  | Motor elétrico trifásico NOVA IP55 5CV 4P     | Exaustor Esteira 2 | 380        | 3,6           |
| Adm   | Prensa Horizontal PFHF 26tPS                  |                    | 380        | 18,3          |
| Adm   | Extrusora de EPS                              |                    | 380        | 8,36          |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 1          | 380        | 3,6           |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 1          | 380        | 3,6           |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 2          | 380        | 3,6           |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico HERCULES IP55 5CV 4P | Esteira 2          | 380        | 3,6           |
| CTR2  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR2  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR2  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR2  | Prensa Vertical PFV – 15tPS                   |                    | 380        | 5,5           |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico NOVA IP55 5CV 4P     | Exaustor Esteira 1 | 380        | 3,6           |
| CTR2  | Motor elétrico trifásico NOVA IP55 5CV 4P     | Exaustor Esteira 2 | 380        | 3,6           |

| Local | Equipamento | Descrição | Tensão (V) | Potência (kW) |
|-------|-------------|-----------|------------|---------------|
| Total |             |           |            | 115,56        |

Fonte: autor.

#### **4.4.2. Demais Equipamentos Elétricos**

A realização do levantamento de dados dos demais equipamentos elétricos conectados à rede elétrica, conforme descrito na Tabela 3. Estão presentes as informações do local de instalação, tipo de equipamento, finalidade do equipamento, tensão e potência nominal e quantidade de unidades instaladas. Essa pesquisa de campo foi realizada em quatro dias. Com isso concluiu-se a etapa de aquisição de dados não disponibilizados pelo CENTCOOP.

**Tabela 3 - Demais equipamentos elétricos conectados à rede elétrica.**

| Local         | Equipamento                     | Quantidade | Potência Nominal(W) | Potência Instalada (W) |
|---------------|---------------------------------|------------|---------------------|------------------------|
| Área Externa  | Iluminação externa              | 71         | 400                 | 28400                  |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 18         | 12                  | 216                    |
| Administração | Filtro d'agua                   | 1          | 90                  | 90                     |
| Administração | Computador de mesa              | 1          | 250                 | 250                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 6          | 32                  | 192                    |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 1050                | 1050                   |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 8          | 12                  | 96                     |
| Administração | Computador de mesa              | 6          | 250                 | 1500                   |
| Administração | Microondas                      | 1          | 1300                | 1300                   |
| Administração | Geladeira                       | 1          | 180                 | 180                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 6          | 32                  | 192                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 3770                | 3770                   |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 20         | 12                  | 240                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 306        | 32                  | 9792                   |
| Administração | Refletor de led economax        | 19         | 100                 | 1900                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 16         | 32                  | 512                    |
| CTR2          | Ar-condicionado                 | 1          | 3770                | 3770                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente compacta   | 36         | 12                  | 432                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 156        | 32                  | 4992                   |
| CTR2          | Lâmpada de vapor multi metálico | 20         | 400                 | 8000                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 150        | 32                  | 4800                   |
| CTR2          | Geladeira                       | 3          | 180                 | 540                    |
| CTR2          | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| CTR2          | Filtro d'agua                   | 3          | 90                  | 270                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 48         | 32                  | 1536                   |
| CTR2          | Micro-ondas                     | 1          | 1300                | 1300                   |
| CTR2          | Computador de mesa              | 6          | 250                 | 1500                   |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 16         | 32                  | 512                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| CTR1          | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| CTR1          | Geladeira                       | 1          | 180                 | 180                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 4          | 32                  | 128                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 8          | 32                  | 256                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente compacta   | 36         | 12                  | 432                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 104        | 32                  | 3328                   |

| Local         | Equipamento                     | Quantidade | Potência Nominal(W) | Potência Instalada (W) |
|---------------|---------------------------------|------------|---------------------|------------------------|
| Área Externa  | Iluminação externa              | 71         | 400                 | 28400                  |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 18         | 12                  | 216                    |
| Administração | Filtro d'agua                   | 1          | 90                  | 90                     |
| Administração | Computador de mesa              | 1          | 250                 | 250                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 6          | 32                  | 192                    |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 1050                | 1050                   |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 8          | 12                  | 96                     |
| Administração | Computador de mesa              | 6          | 250                 | 1500                   |
| Administração | Microondas                      | 1          | 1300                | 1300                   |
| Administração | Geladeira                       | 1          | 180                 | 180                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 6          | 32                  | 192                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| Administração | Ar-condicionado                 | 1          | 3770                | 3770                   |
| Administração | Lâmpada fluorescente compacta   | 20         | 12                  | 240                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| Administração | Lâmpada fluorescente tubular    | 306        | 32                  | 9792                   |
| Administração | Refletor de led economax        | 19         | 100                 | 1900                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 16         | 32                  | 512                    |
| CTR2          | Ar-condicionado                 | 1          | 3770                | 3770                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente compacta   | 36         | 12                  | 432                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 156        | 32                  | 4992                   |
| CTR2          | Lâmpada de vapor multi metálico | 20         | 400                 | 8000                   |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 150        | 32                  | 4800                   |
| CTR2          | Geladeira                       | 3          | 180                 | 540                    |
| CTR2          | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| CTR2          | Filtro d'agua                   | 3          | 90                  | 270                    |
| CTR2          | Lâmpada fluorescente tubular    | 48         | 32                  | 1536                   |
| CTR2          | Micro-ondas                     | 1          | 1300                | 1300                   |
| CTR2          | Computador de mesa              | 6          | 250                 | 1500                   |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 16         | 32                  | 512                    |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 12         | 32                  | 384                    |
| CTR1          | Ar-condicionado                 | 1          | 1450                | 1450                   |
| CTR1          | Lâmpada fluorescente tubular    | 150        | 32                  | 4800                   |
| CTR1          | Lâmpada de vapor multi metálico | 20         | 400                 | 8000                   |
| CTR1          | Computador de mesa              | 5          | 250                 | 1250                   |
| CTR1          | Filtro d'agua                   | 2          | 90                  | 180                    |
| CTR1          | Geladeira                       | 1          | 180                 | 180                    |
| Total         |                                 |            |                     | 101952                 |

Fonte: autor.

A tabela quatro resume os dados levantados. A primeira linha consiste no somatório de todo o maquinário produtivo instalado na CENTCOOP. Nela está resumida os equipamentos utilizados para a iluminação da Centcoop bem como demais equipamentos, descritos como “outros”.

**Tabela 4 - Resumo dos equipamentos analisados.**

| Equipamento Analisado            | Qtd         | Potência Instalada [kW] |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|
| Maquinário                       | -           | 115,56                  |
| Lâmpada Iluminação externa 400W  | 71          | 28,4                    |
| Lâmpada fluorescente tubular 32W | 156         | 5                       |
| Lâmpada fluorescente tubular 54W | 866         | 46,7                    |
| Outros                           | -           | 40,8                    |
| <b>Total</b>                     | <b>1093</b> | <b>236,46</b>           |

Fonte: Autor.

#### 4.5. CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Um dado crucial ao se analisar sistemas energéticos é o consumo total e o perfil de consumo, isto é, o horário em que se consome energia. Devido aos contratos firmados com a distribuidora de energia, é preciso estar atento à potência contratada, a quantidade de energia consumida e aos horários de consumo. Caso isso não seja observado, pode-se multar o consumidor ou cobrar o excedente de consumo. Na Tabela 4 e Tabela 5, fornecidas pela CENTCOOP, estão presentes os seguintes dados: consumo de energia ativa, demanda e consumo reativo excedente.

**Tabela 5 - Consumo de energia ativa e demanda CENTCOOP.**

| Fatura  | Consumo de Energia Ativa (kWh) |            |           | Demanda (kW)  |                    |                    | Ult. Fora Ponta Demanda |
|---------|--------------------------------|------------|-----------|---------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
|         | Ponta                          | Fora Ponta | Reservado | Ponta Demanda | Ult. Ponta Demanda | Fora Ponta Demanda |                         |
| 05/2024 | 4078                           | 21994      | 0         | 0             | 0                  | 83                 | 0                       |
| 04/2024 | 3505                           | 20390      | 0         | 0             | 0                  | 863                | 0                       |
| 03/2024 | 3523                           | 19918      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 02/2024 | 4061                           | 21442      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 01/2024 | 3312                           | 20312      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 12/2023 | 3704                           | 20205      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 11/2023 | 3911                           | 21486      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 10/2023 | 3578                           | 20240      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 09/2023 | 3904                           | 21677      | 0         | 0             | 0                  | 68                 | 0                       |
| 08/2023 | 3327                           | 21771      | 0         | 0             | 0                  | 68                 | 0                       |
| 07/2023 | 3659                           | 21483      | 0         | 0             | 0                  | 76                 | 0                       |
| 06/2023 | 3688                           | 21429      | 0         | 0             | 0                  | 72                 | 0                       |
| 05/2023 | 2878                           | 18056      | 0         | 0             | 0                  | 61                 | 0                       |
| 04/2023 | 3327                           | 19884      | 0         | 0             | 0                  | 61                 | 0                       |
| 03/2023 | 2717                           | 16700      | 0         | 0             | 0                  | 72                 | 0                       |
| 02/2023 | 3022                           | 18474      | 0         | 0             | 0                  | 79                 | 0                       |

|         | Consumo de Energia Ativa (kWh) |       |   |   | Demanda (kW) |    |   |  |
|---------|--------------------------------|-------|---|---|--------------|----|---|--|
|         |                                |       |   |   |              |    |   |  |
| 01/2023 | 3532                           | 19220 | 0 | 0 | 0            | 61 | 0 |  |
| 11/2022 | 3208                           | 18635 | 0 | 0 | 0            | 65 | 0 |  |
| 10/2022 | 3387                           | 18992 | 0 | 0 | 0            | 72 | 0 |  |
| 09/2022 | 3677                           | 19204 | 0 | 0 | 0            | 65 | 0 |  |
| 08/2022 | 3337                           | 18909 | 0 | 0 | 0            | 65 | 0 |  |
| 07/2022 | 3438                           | 18682 | 0 | 0 | 0            | 72 | 0 |  |
| 06/2022 | 3690                           | 19954 | 0 | 0 | 0            | 76 | 0 |  |
| 05/2022 | 3224                           | 19520 | 0 | 0 | 0            | 68 | 0 |  |
| 04/2022 | 3765                           | 20848 | 0 | 0 | 0            | 90 | 0 |  |
| 03/2022 | 3770                           | 18680 | 0 | 0 | 0            | 86 | 0 |  |
| 02/2022 | 3840                           | 20567 | 0 | 0 | 0            | 83 | 0 |  |
| 01/2022 | 3774                           | 19670 | 0 | 0 | 0            | 79 | 0 |  |
| 12/2021 | 3278                           | 16980 | 0 | 0 | 0            | 79 | 0 |  |
| 11/2021 | 3805                           | 18177 | 0 | 0 | 0            | 86 | 0 |  |
| 10/2021 | 4550                           | 19695 | 0 | 0 | 0            | 86 | 0 |  |
| 09/2021 | 3638                           | 18086 | 0 | 0 | 0            | 76 | 0 |  |
| 08/2021 | 3833                           | 17750 | 0 | 0 | 0            | 76 | 0 |  |
| 07/2021 | 3812                           | 16951 | 0 | 0 | 0            | 76 | 0 |  |
| 06/2021 | 3762                           | 16646 | 0 | 0 | 0            | 76 | 0 |  |
| 05/2021 | 3458                           | 16460 | 0 | 0 | 0            | 72 | 0 |  |
| 04/2021 | 3923                           | 18819 | 0 | 0 | 0            | 79 | 0 |  |
| 03/2021 | 3209                           | 15899 | 0 | 0 | 0            | 83 | 0 |  |
| 02/2021 | 3416                           | 17620 | 0 | 0 | 0            | 90 | 0 |  |
| 01/2021 | 3709                           | 18750 | 0 | 0 | 0            | 94 | 0 |  |

Fonte: CENTCOOP (2024)

**Tabela 6 - Consumo reativo excedente e demanda reativa excedente.**

| Fatura  | Consumo Reativo Excedente (EXKWH) |                  |                 | Consumo Reativo Excedente (EXKW) |                 |   |
|---------|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|---|
|         | Ponta EXKWH                       | Fora Ponta EXKWH | Reservado EXKWH | Ponta EXKW                       | Fora Ponta EXKW |   |
| 05/2024 | 1                                 | 1                | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 04/2024 | 0                                 | 0                | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 03/2024 | 0                                 | 34               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 02/2024 | 2                                 | 75               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 01/2024 | 2                                 | 107              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 12/2023 | 0                                 | 107              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 11/2023 | 0                                 | 81               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 10/2023 | 2                                 | 114              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 09/2023 | 0                                 | 47               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 08/2023 | 0                                 | 38               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 07/2023 | 0                                 | 52               | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 06/2023 | 0                                 | 110              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 05/2023 | 0                                 | 167              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 04/2023 | 0                                 | 193              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 03/2023 | 3                                 | 110              | 0               | 0                                | 0               | 0 |
| 02/2023 | 2                                 | 124              | 0               | 0                                | 0               | 0 |

|         |    | Consumo Reativo Excedente (EXKWH) |   | Consumo Reativo Excedente (EXKW) |   |
|---------|----|-----------------------------------|---|----------------------------------|---|
| 01/2023 | 1  | 98                                | 0 | 0                                | 0 |
| 11/2022 | 2  | 207                               | 0 | 0                                | 0 |
| 10/2022 | 1  | 325                               | 0 | 0                                | 0 |
| 09/2022 | 0  | 175                               | 0 | 0                                | 0 |
| 08/2022 | 0  | 37                                | 0 | 0                                | 0 |
| 07/2022 | 0  | 32                                | 0 | 0                                | 0 |
| 06/2022 | 0  | 68                                | 0 | 0                                | 0 |
| 05/2022 | 1  | 13                                | 0 | 0                                | 0 |
| 04/2022 | 0  | 20                                | 0 | 0                                | 0 |
| 03/2022 | 0  | 32                                | 0 | 0                                | 0 |
| 02/2022 | 4  | 61                                | 0 | 0                                | 0 |
| 01/2022 | 0  | 30                                | 0 | 0                                | 0 |
| 12/2021 | 0  | 131                               | 0 | 0                                | 0 |
| 11/2021 | 0  | 145                               | 0 | 0                                | 0 |
| 10/2021 | 0  | 301                               | 0 | 0                                | 0 |
| 09/2021 | 0  | 0                                 | 0 | 0                                | 0 |
| 08/2021 | 0  | 106                               | 0 | 0                                | 0 |
| 07/2021 | 0  | 202                               | 0 | 0                                | 0 |
| 06/2021 | 0  | 149                               | 0 | 0                                | 0 |
| 05/2021 | 0  | 129                               | 0 | 0                                | 0 |
| 04/2021 | 0  | 123                               | 0 | 0                                | 0 |
| 03/2021 | 1  | 238                               | 0 | 0                                | 0 |
| 02/2021 | 1  | 481                               | 0 | 0                                | 0 |
| 01/2021 | 22 | 672                               | 0 | 0                                | 0 |

Fonte: CENTCOOP (2024)

A tabela 7 apresenta o consumo médio ativo mensal em kWh dos horários de ponta e fora ponta, anual e mensal.

**Tabela 7 - Consumo Médio**

| Consumo Médio de Energia Ativa Mensal (kWh) |          |            |            |
|---|----------|------------|------------|
|   | Ponta    | Fora Ponta | Total      |
| Mensal                                      | 3.580,72 | 19.254,37  | 22.835,10  |
| Anual                                       | 42.968,7 | 231.052,5  | 274.021,20 |

Fonte: Autor.

## 5. ERASMUS+ EGALITARIAN

### 5.1. HISTÓRICO

O fechamento do lixão da estrutural em 2018 foi um grande avanço do ponto de vista socioambiental. Entretanto, essa mudança mudou radicalmente o estilo de vida da comunidade dos catadores de lixo e o modo que trabalham. Essa mudança apesar de necessária, gerou novos problemas e desafios porém também criou oportunidades para desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores.

Uma nova frente de trabalho foi criada, liderada pelo Prof. Dr. Paulo Celso. O objetivo do grupo era criar alternativas ao modelo de trabalho precário antes desempenhado no lixão a céu aberto. Essa alternativa, foram os centros de triagem, onde os trabalhadores poderiam ter a oportunidade de emprego formal, em condições salubres, seguras e eficientes.

Embora a situação tenha evoluído, ainda há desafios que precisam ser enfrentados no âmbito político, acadêmico, comunitário e privado. Sendo assim o objetivo do projeto é engajar estudantes do Brasil, Dinamarca, Países Baixos e Portugal para desenvolver soluções de engenharia para esses problemas de maneira integrada, multicultural e multidisciplinar.

### 5.2. DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

O Egalitarian é desenvolvido em ciclos, buscando ser integrado com as disciplinas das quatro universidades ao longo do semestre. No começo de cada ciclo, os participantes do programa se reúnem presencialmente, onde têm palestras, fazem visitas técnicas e criam grupos de discussão para debater temas relacionados. Ao longo da semana os estudantes elaboram planos de ação utilizando artefatos como PM Canvas, e elaboram o cronograma dos programas para o semestre, seguindo o PMO Brasil (Gerenciamento de Escritório de Projetos do Brasil). No ciclo 1/2024 foram elaborados seguintes escopos de projetos para serem desenvolvidos nas disciplinas do primeiro semestre de 2024:

- a) Sustainable Hub – Ecolink, aplicativo para auxiliar no descarte correto de RSU.
- b) Puma Indicators, plataforma unificada de metodologia ativa cujo objetivo geral do é desenvolver um sistema que possibilite a automatização do processo de

avaliação dos alunos, contemplando as disciplinas de Projetos de Sistemas de Produção do curso de graduação da Engenharia de Produção.

c) Educado, aplicativo educativo dedicado a melhoria da qualificação profissional de catadores.

d) Semi Automated Sorting of Urban Solid Waste, projeto dedicado a otimização dos processos produtivos da CENTCOOP por meio de automações de processos e melhorias no processo vigente.

e) Data Management System for the Cooperatives, Plataforma dedicada a gestão e análise dos dados das cooperativas, como produtividade, lucro e informações gerenciais

f) IOT Landfill of Águas Lindas, monitoramento de parâmetros ambientais do aterro sanitário de Águas Lindas do Goiás utilizando tecnologia de internet das coisas.

No ciclo 01/2024 foram desenvolvidos 40 projetos dentro dos seis programas citados anteriormente, por 153 alunos de diferentes universidades. A nota de satisfação global foi de 4,65 de 5 possíveis.

### 5.3. SEMI AUTOMATED SORTING OF URBAN SOLID WASTE

O programa tem como objetivo específico melhorar o processo de triagem de resíduos, particularmente na fase inicial. O projeto visa explorar e propor soluções que contribuam para um processo de triagem mais eficiente e eficaz, considerando as percepções dos galpões existentes da CENTCOOP e planejando um novo sistema de triagem semimecanizado.

O programa Semi Automated Sorting Of Urban Solid Waste envolveu na Universidade de Brasília a disciplina Eletricidade Básica (EB), Elementos de Máquinas Projetos de Sistema de Produção 1 (PSP1) e Projetos de Sistema de Produção 4 (PSP4). Na disciplina Elementos de Máquinas foram desenvolvidos equipamentos para otimizar os processos produtivos do CENTCOOP com base em dados coletados por PSP1. Foram elaborados projetos preliminares elétricos na disciplina de Eletricidade Aplicada com base nos equipamentos desenvolvidos. Os alunos de PSP4 eram responsáveis pela gestão do projeto.

Este trabalho foi elaborado em paralelo com a turma de Eletricidade Básica. Os dados coletados durante o decorrer da disciplina foram disponibilizados às turmas. A comunicação da turma de EB com Egalitarian foi feita pelos alunos João Vítor Garcia e Marina Nery. Seu papel era coordenar e orientar os alunos no escopo do projeto.

## **6. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO**

Este capítulo se dedica a propor mudanças para a CENTCOOP que tenham impacto financeiro, técnico ou ambiental. Não necessariamente todas as propostas atendem aos três critérios simultaneamente. Para fins organizacionais, dividiu-se a análise em três categorias: iluminação interna, externa e maquinário presente na linha de produção.

Para fins de cálculo, consideram-se turnos de trabalho de 12 horas diário e 5 dias de trabalho semanais. Considera-se também que a iluminação externa permanece ligada 12 horas por noite, durante todos os 365 dias do ano.

Alguns equipamentos conectados à rede pertencem às cooperativas que estão instaladas na Central de Cooperativas e não da própria CENTCOOP. Esses equipamentos foram desconsiderados das propostas de intervenção por não serem de uso coletivo e sua utilização advém de escolha das próprias cooperativas.

### **6.1. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

#### **6.1.1. Substituição de maquinário da linha de produção**

Observou-se, durante as visitas técnicas, a necessidade de se substituir equipamentos antigos que estão apresentando defeitos ou que estão até mesmo inoperantes. A falta de manutenção preventiva e o fim da vida útil dos equipamentos são fatores preponderantes na realidade das cooperativas.

Originalmente, os dejetos presentes nos resíduos sólidos urbanos que não são catados e destinados ao aterro sanitário eram despejados em uma outra esteira, que os transportava até uma caçamba. Devido à escassez de recursos e à falta de planejamento, a esteira designada para a remoção dos dejetos foi canibalizada, e suas peças foram utilizadas para realizar o reparo das esteiras principais.

Atualmente, a etapa de descarte de rejeitos é manual, utilizando containers menores, que posteriormente são recolhidos pelo SLU em caminhões. Isso resulta em menor eficiência na linha de produção, mas representa um ganho de confiabilidade e adaptação à realidade das cooperativas. Há de se destacar que grande parte do maquinário que compõe a CENTCOOP foi cedido pelo SLU. Não há verba para substituí-los nem para fazer o reparo adequado.

Qualquer modificação que seja feita na linha de produção da Central de Cooperativas precisaria ser estudada nos âmbitos produtivos e organizacionais. Com esse tipo de alteração, seria possível verificar se a utilização de prensas mais

potentes, esteiras mais velozes e mudanças estruturais no processo produtivo podem resultar em melhorias do ponto de vista energético. Como o presente estudo não abordará esses aspectos, a sugestão de mudanças no maquinário não seria embasada em dados técnicos. Portanto, mudanças dessa natureza não serão sugeridas.

### 6.1.2. Substituição de iluminação externa

Ao avaliar a possibilidade de substituir lâmpadas de vapor metálico de 400W por alternativas em LED, considerando a eficiência luminosa medida em lumens por watt (lm/W), verificou-se que há modelos de LED que podem atingir níveis similares de iluminação com redução do consumo energético.

Lâmpadas de vapor metálico de 400W possuem uma eficiência luminosa média de 90 a 100 lm/W, gerando cerca de 36.000 a 40.000 lumens. Durante a busca por modelos LED que pudessem substituí-las com eficiência similar, averiguou-se que há opções, apesar de operarem com potências reduzidas, que oferecem alta eficiência luminosa e podem substituir diretamente as lâmpadas antigas sem perdas significativas. A Tabela 6 detalha alguns dos modelos pesquisados:

**Tabela 8 – Modelos de lâmpadas para iluminação pública.**

| Modelo   | Potência (W) | Eficiência (lm/W) | Link                       |
|--|--------------|-------------------|----------------------------|
| Luminária Pública LED 100W<br>Demape Courbe 8  | 100          | 135               | <a href="#">Demape</a>     |
| Luminária Pública LED 100W<br>LEDSTAR DURA 8.8 | 100          | 130               | <a href="#">LEDSTAR</a>    |
| Lâmpada LED Alta Potência<br>Foxlux            | 80           | 110               | Foxlux                     |
| Superled Alta Potência T 80W<br>Ourolux        | 80           | 120               | <a href="#">Ourolux</a>    |
| Lâmpada Ultra LED Alta<br>Potência 85W E40     | 85           | 115               | <a href="#">Fornecedor</a> |
| Refletor Modular LED 400W-<br>500W             | 400-500      | 140-170           | <a href="#">Ledluxor</a>   |
| Holofote LED para Projetor<br>400W-500W        | 400-500      | 110               | <a href="#">Alibaba</a>    |
| Luminária LED Philips<br>RoadForce 196W        | 196          | 179               | <a href="#">Philips</a>    |

Fonte: autor

Situação Atual:

$$\text{Potência total instalada: } 71 \times 400 [W] = 28.400[W]$$

$$\text{Consumo diário: } 28,4 \text{ kW} \times 10 \text{ horas/dia} = 284 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 284 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 8.520 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo anual: } 8.520 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 102.240 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Custo anual de energia: } 102.240 \text{ kWh} \times R\$ 0,60/\text{kWh} = R\$ 61.344,00$$

Após Substituição por Luminárias LED Philips RoadForce 196W:

$$\text{Potência total instalada: } 71 \times 196W = 13.916W$$

$$\text{Consumo diário: } 13,916 \text{ kW} \times 10 \text{ horas/dia} = 139,16 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 139,16 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 4.175 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo anual: } 4.175 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 50.100 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Custo anual de energia: } 50.100 \text{ kWh} \times R\$ 0,60/\text{kWh} = R\$ 30.060,00$$

Economia Anual Estimada:

$$\text{Redução no consumo anual: } 102.240 \text{ kWh} - 50.100 \text{ kWh} = 52.140 \text{ kWh}$$

$$\text{Economia financeira anual: } R\$ 61.344,00 - R\$ 30.060,00 = R\$ 31.284,00$$

Embora as luminárias LED possuam vantagens como maior vida útil e menor consumo energético, ainda é necessário realizar um estudo luminotécnico para garantir que a substituição não comprometa os níveis de iluminação exigidos para cada aplicação. Caso seja necessária uma substituição sem perdas na quantidade de lumens, pode ser necessário utilizar múltiplas luminárias LED para cobrir a mesma área iluminada anteriormente por uma única lâmpada de vapor metálico de 400W.

### 6.1.3. Substituição De Iluminação Interna

Para realizar a análise separou-se em dois subgrupos as lâmpadas instaladas no ambiente fabril: lâmpadas de 32W instaladas nos ambientes administrativos, salas, copas, corredores, banheiros, entre outros e as lâmpadas de 54W instaladas nos ambientes produtivos da CENTCOOP.

Ao avaliar a possibilidade de substituir lâmpadas fluorescentes de 54W por alternativas em LED, considerando a eficiência luminosa medida em lumens por watt

(lm/W), verificou-se que há modelos mais eficientes que podem reduzir o consumo de energia sem comprometer a qualidade da iluminação.

Lâmpadas fluorescentes de 54W possuem uma eficiência luminosa média de 80 a 100 lm/W, gerando cerca de 4.320 a 5.400 lumens. Durante a busca por modelos LED que pudessem substituí-las com a mesma eficiência ou superior, encontrou-se modelos com potências reduzidas e maior eficiência por watt consumido. A Tabela 7 contém alguns dos modelos orçados.

**Tabela 9 – Modelos de lâmpadas tubulares 1**

| Modelo   | Potência (W) | Fluxo Luminoso (lm) | Eficiência (lm/W) | Link                        |
|--|--------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| Lâmpada Fluorescente Philips TL5 Essential HO 54W 115cm 4000K      | 54           | 4.450               | 82                | <a href="#">Philips</a>     |
| Lâmpada LED T5 Tubular G5 115cm 4000K Luz Branca Quente Bivolt 18W | 18           | 2000                | 111               | <a href="#">Dimensional</a> |
| Lâmpada LED Tubular T5 18-20W 1,15m 6500K                          | 20           | 1600                | 80                | <a href="#">Extra</a>       |
| Lâmpada LED Philips CorePro LEDtube 1200mm 26W 4000K               | 26           | 3900                | 150               | <a href="#">Philips</a>     |

Fonte: autor

#### Cálculos de Consumo e Economia de Energia para 5h/dia

##### Situação Atual:

$$\text{Potência total instalada: } 866 \text{ lâmpadas} \times 54 \text{ W} = 46.764 \text{ W}$$

$$\text{Consumo diário: } 46,764 \text{ kW} \times 5 \text{ horas/dia} = 233,82 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 233,82 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 7.014,6 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo anual: } 7.014,6 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 84.175,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo anual de energia: } 84.175,2 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,60/\text{kWh} = \text{R\$ } 50.505,12$$

##### Após Substituição por Lâmpadas LED de 26W:

$$\text{Potência total instalada: } 866 \text{ lâmpadas} \times 26 \text{ W} = 22.516 \text{ W}$$

$$\text{Consumo diário: } 22,516 \text{ kW} \times 5 \text{ horas/dia} = 112,58 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 112,58 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 3.377,4 \text{ kWh/mês}$$

Consumo anual:  $3.377,4 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 40.528,8 \text{ kWh}$

Custo anual de energia:  $40.528,8 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,60/\text{kWh} = \text{R\$ } 24.317,28$

Economia Anual Estimada:

Redução no consumo anual:  $84.175,2 \text{ kWh} - 40.528,8 \text{ kWh} = 43.646,4 \text{ kWh}$

Economia financeira anual:  $\text{R\$ } 50.505,12 - \text{R\$ } 24.317,28 = \text{R\$ } 26.187,84$

No mês de fevereiro de 2025 o custo de aquisição de cada lâmpada era de R\$ 64,00. Portanto, o custo de aquisição de 866 lâmpadas seria de R\$ 55.424,00.

Novamente, avaliou-se a possibilidade de substituir lâmpadas fluorescentes por alternativas de LED, considerando a eficiência luminosa medida em lumens por watt (lm/W), verificou-se que há modelos mais eficientes que podem reduzir o consumo de energia sem comprometer a qualidade da iluminação.

Lâmpadas fluorescentes de 32W cuja eficiência luminosa média é de 78 lm/W, produzindo cerca de 2.500 lumens. Durante a busca por modelos LED que pudessem substituí-las com a mesma eficiência ou superior, foram encontrados modelos com potências reduzidas e maior eficiência por watt consumido, mantendo fluxo luminoso semelhante.

A Tabela 8 detalha apresenta os modelos comparados:

**Tabela 10 – Modelos de lâmpadas tubulares 2.**

| Modelo   | Potência (W) | Fluxo Luminoso (lm) | Eficiência (lm/W) | Link                             |
|--|--------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|
| Lâmpada Fluorescente OSRAM Lumilux 32W Amarela                     | 32W          | 2500 lm             | 78 lm/W           | <a href="#">Elétrica Bahiana</a> |
| Lâmpada LED T5 Tubular G5 115cm 4000K Luz Branca Quente Bivolt 18W | 18W          | 2000 lm             | ~111 lm/W         | <a href="#">Dimensional</a>      |
| Lâmpada LED Tubular T5 18-20W 1,15m 6500K                          | 18-20W       | 1600 lm             | 80-89 lm/W        | <a href="#">Extra</a>            |
| Lâmpada LED Philips CorePro LEDtube 1200mm 26W 4000K               | 26W          | 3900 lm             | 150 lm/W          | <a href="#">Philips</a>          |
| Lâmpada LED Philips Master Value LEDtube T8 16W 4000K              | 16W          | 2100 lm             | 131 lm/W          | <a href="#">Philips</a>          |

Fonte: autor.

### Cálculos de Consumo e Economia de Energia para 5h/dia

#### Situação Atual:

$$\text{Potência total instalada: } 152 \text{ lâmpadas} \times 32W = 4.864W$$

$$\text{Consumo diário: } 4,864 \text{ kW} \times 5 \text{ horas/dia} = 24,32 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 24,32 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 729,6 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo anual: } 729,6 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 8.755,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo anual de energia: } 8.755,2 \text{ kWh} \times R\$ 0,60/\text{kWh} = R\$ 5.253,12$$

#### Após Substituição por Lâmpadas LED de 16W:

$$\text{Potência total instalada: } 152 \text{ lâmpadas} \times 16W = 2.432W$$

$$\text{Consumo diário: } 2,432 \text{ kW} \times 5 \text{ horas/dia} = 12,16 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Consumo mensal: } 12,16 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 364,8 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo anual: } 364,8 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 4.377,6 \text{ kWh}$$

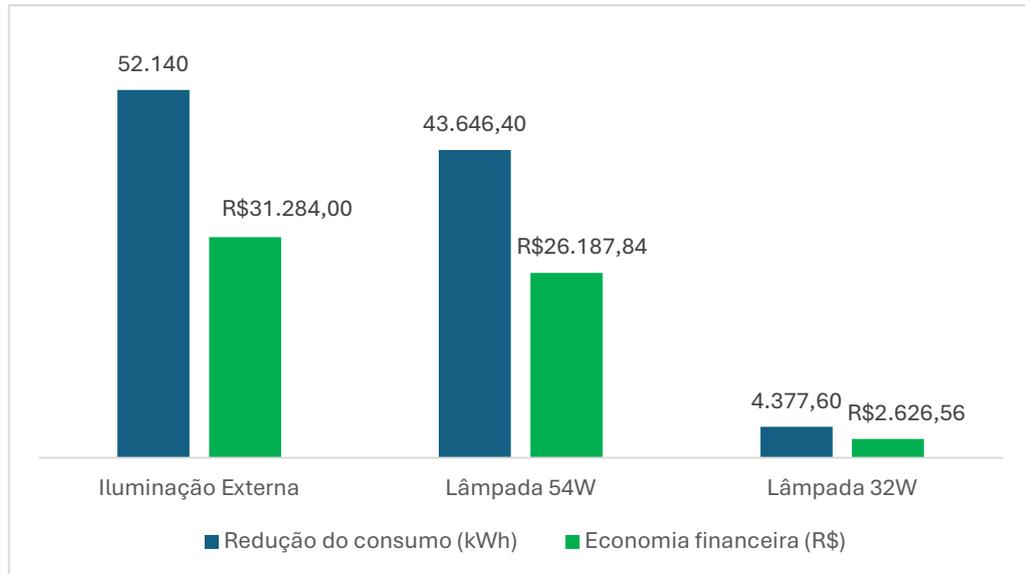
$$\text{Custo anual de energia: } 4.377,6 \text{ kWh} \times R\$ 0,60/\text{kWh} = R\$ 2.626,56$$

#### Economia Anual Estimada:

$$\text{Redução no consumo anual: } 8.755,2 \text{ kWh} - 4.377,6 \text{ kWh} = 4.377,6 \text{ kWh}$$

$$\text{Economia financeira anual: } R\$ 5.253,12 - R\$ 2.626,56 = R\$ 2.626,56$$

A figura xxx ilustra a redução no consumo de energia elétrica e impacto financeiro das mudanças propostas. Pode-se observar que o maior impacto relativos às mudanças está na substituição da iluminação externa e das áreas de trabalho dos galpões, embora a substituição das lâmpadas de 32W possua uma importância considerável.



**Figura 9 - Gráfico comparativo das propostas de intervenção.**

Fonte: Autor.

#### 6.1.4. Equipamentos de menor consumo

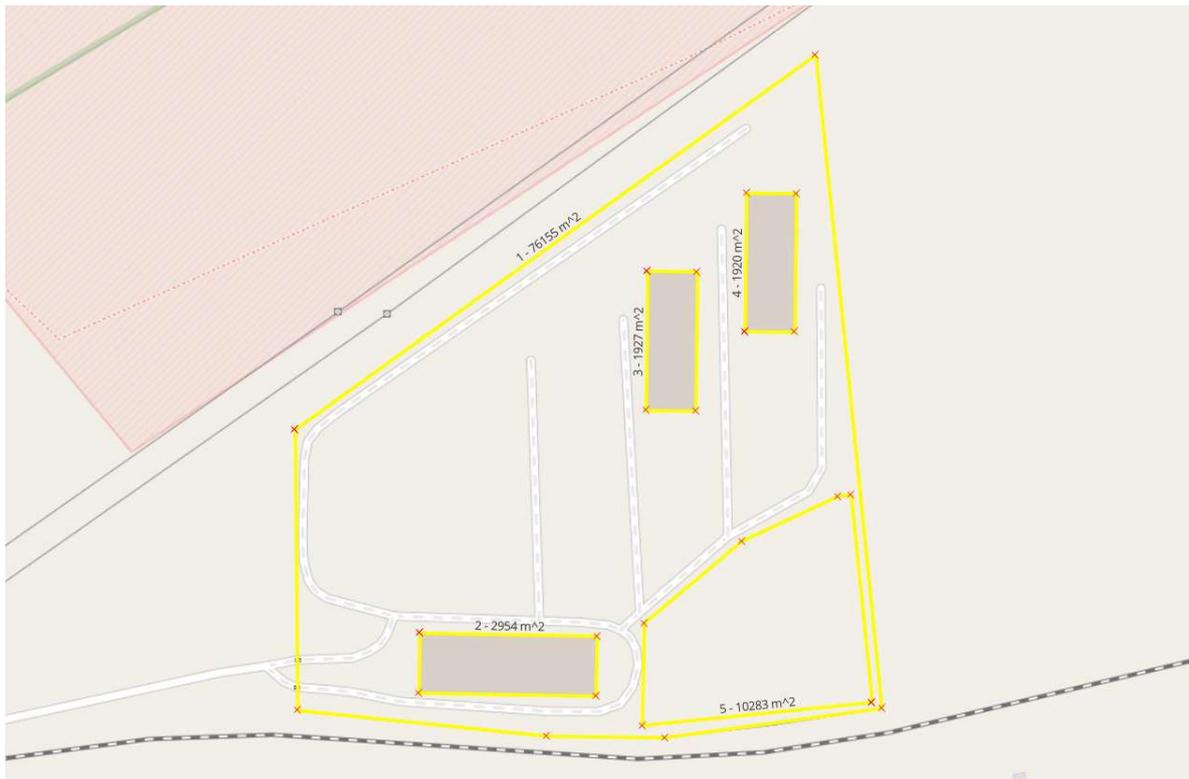
Há na CENTCOOP aproximadamente 21,6 kW instalados de equipamentos eletrodomésticos (ar-condicionado, filtros de água, micro-ondas, computadores de mesa, e notebooks, entre outros). Esses equipamentos são utilizados de acordo com a demanda. Os ar-condicionado permanecem desligados a maior parte do tempo, conforme observado nas visitas. Devido a essa natureza variável de sua utilização, a dificuldade em mapear os padrões de uso e por corresponder a 9,1% da potência instalada na CENTCOOP, esses equipamentos foram descartados da análise, e nenhuma sugestão de melhoria será realizada neste quesito.

## 6.2. IMPLEMENTAÇÃO DE MINIUSINA FOTOVOLTAICA

O dimensionamento de um sistema de geração de energia é realizado, principalmente, mas não exclusivamente, por três fatores: área disponível, aspectos financeiros e consumo energético anual. A CENTCOOP possui a necessidade de reduzir seus gastos, aumentando seus lucros, e por fim aumentando o salário recebido por seus catadores. O intuito da implementação de uma usina fotovoltaica é reduzir os gastos com energia elétrica.

Utilizando o software de georreferenciamento Qgis, aliado de visitas técnicas, foi mapeada a área disponível para a implementação da miniusina fotovoltaica. Conforme ilustrado na Figura 8, há aproximadamente 76 mil metros quadrados de

área total na CENTCOOP, indicado pelo rótulo 1. O prédio da administração possui uma área total de telhado de 3 mil metros quadrados. Cada centro de triagem (CTR1 e CTR2) possui aproximadamente 2 mil metros quadrados de área de telhado indicados pelos rótulos 3 e 4. Há ainda uma área de 10 mil metros quadrados disponível na lateral da CENCOOP, indicada pelo rótulo 5, que não está sendo utilizada nesse momento. As demais áreas da CENTCOOP devem ser dedicadas à sua atividade base, que é a triagem de resíduos sólidos.



**Figura 10 - Georreferenciamento CENTCOOP**

Fonte: autor.

Realizou-se uma análise tarifária para entender o perfil de consumo da Central de Cooperativas. É possível ver que nos 40 meses, aos quais obteve-se acesso às faturas da CENTCOOP, consumiu-se em média 22835,1 kWh com um desvio padrão de 7,7%. A Tabela 9 sintetiza esse perfil de consumo.

**Tabela 11 – Resumo do consumo.**

|               | Ponta  | Fora Ponta | Total   |
|---------------|--------|------------|---------|
| Média         | 3580,7 | 19254,4    | 22835,1 |
| Desvio Padrão | 339,7  | 1608,8     | 1773,5  |

Fonte: autor.

Considerando o consumo anual 274.020,0 kWh, é uma boa estimativa propor uma usina fotovoltaica que produza até 300.000 kWh anuais. Cobrindo assim eventuais desvios à média de aproximadamente 10%.

Considerando dados solarimétricos da localização da CENTCOOP, obtidos com o software SAM, obtêm-se uma irradiação global horizontal – GHI – de 5,64 kWh/m<sup>2</sup>\*dia. Com isso é possível obter-se as horas de sol pleno:

$$HSP \text{ [horas/dia]} = GHI \text{ [kWh/m}^2 \text{ * dia]} / 1 \text{ [kW/m}^2\text{]}$$

$$HSP \text{ [horas/dia]} = 5,64 / 1 = 5,64 \text{ [horas/dia]}$$

Será utilizado um Performance Ratio – PR – de 0,80 para estimar a potência de corrente contínua do sistema, partindo da potência de corrente alternada necessária produzir 300.000 kWh anuais, utilizando 5,64 horas de sol pleno diárias.

$$\textit{Produção Anual de Energia} = Pot_{cc} * HSP * 365 * PR$$

$$P_{cc} \text{ [kW]} = \textit{Produção Anual de Energia} \text{ [kWh]} / HSP \text{ [horas]} * 365 * PR$$

$$P_{cc} = 300.000 / (5,64 * 365 * 0,8) \text{ [kW]}$$

$$P_{cc} = 182,8 \text{ [kW]}$$

Foi selecionado o painel solar JAM72S30 da JA Solar, devido à sua disponibilidade no mercado brasileiro e às suas características técnicas adequadas para o projeto. Este módulo apresenta alta eficiência, confiabilidade comprovada e compatibilidade com os inversores disponíveis no mercado. A Figura A.2, presente nos Anexos, contém as informações detalhadas sobre esse modelo. Sabendo que sua potência máxima (P<sub>mp</sub>) é de 550W, pode-se calcular o número de módulos fotovoltaicos necessários para atingir a potência de corrente contínua:

$$N_{\text{modulos}} = 182.800 / 550$$

$$N_{\text{modulos}} = 332,3$$

Como o maior inteiro possível é 333, esse será a quantidade aproximada de painéis.

A área necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos é calculada multiplicando-se o número de painéis pela área de cada módulo.

$$A_{\text{modulo}} = 2,52 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{modulo}} * N^{\circ}\text{modulos}$$

$$A_{\text{total}} = 2,52 * 333$$

$$A_{\text{total}} = 839 \text{ [m}^2\text{]}$$

A escolha do inversor Canadian Solar CSI-60KTL-CT (480V) para a miniusina fotovoltaica da CENTCOOP foi baseada em sua compatibilidade com a potência instalada, alta eficiência e confiabilidade. Com uma potência nominal de 60 kW AC e suporte de até 61,072 kW DC, três unidades desse modelo são suficientes para atender à demanda do sistema, garantindo conversão eficiente da energia gerada pelos módulos JA Solar JAM72D30-550/MB.

Este inversor se destaca por sua alta eficiência, reduzindo perdas na conversão de energia. Além disso, sua ampla faixa de operação MPPT (540V a 850V) permite flexibilidade na configuração das strings, otimizando a geração mesmo em variações de irradiação. Sua capacidade de corrente DC de 83,66 A possibilita melhor adaptação ao projeto, garantindo desempenho máximo.

O modelo CSI-60KTL-CT se destaca pela confiabilidade da marca Canadian Solar, sendo um equipamento robusto, com fácil manutenção e alta durabilidade. Sua escolha possibilita um sistema equilibrado e eficiente, atendendo a necessidade da CENTCOOP de reduzir custos e aumentar a autonomia energética.

A configuração escolhida para a miniusina fotovoltaica consiste em 21 strings de 16 módulos cada, totalizando 336 módulos JA Solar JAM72D30-550/MB. Essa configuração foi definida com base na compatibilidade entre os módulos e os inversores Canadian Solar CSI-60KTL-CT (480V), garantindo eficiência energética, estabilidade operacional e otimização da geração.

Cada módulo opera com uma tensão de operação ( $V_{mp}$ ) de 42,0V e uma corrente de operação ( $I_{mp}$ ) de 13,1A. Assim, cada string, composta por 16 módulos em série, terá uma tensão total de:

$$V_{string} = 16 * 42,0V = 672V$$

Esse valor está dentro da faixa operacional de MPPT do inversor (540V a 850V), garantindo que o sistema funcione de forma eficiente dentro dos limites ideais. Além disso, a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) dos módulos é 49,9V, e a tensão máxima da string em condições de circuito aberto será:

$$V_{oc, string} = 16 * 49,9V = 798,4V$$

Esse valor também está dentro da tensão máxima de entrada do inversor (850V), garantindo segurança operacional e conformidade com os limites elétricos do equipamento.

Em termos de corrente, cada string opera com 13,1A (Imp), e com 21 strings, a corrente total de entrada nos inversores será:

$$I_{Total} = 21 * 13,1A = 275,1 A$$

Cada inversor suporta uma corrente máxima de entrada de 83,66A, e considerando 3 inversores, a capacidade total de corrente do sistema será:

$$I_{inversores} = 3 * 83,66 A = 250,98$$

Esse valor está próximo da corrente total gerada pelas strings, garantindo compatibilidade e aproveitamento máximo da geração sem sobrecarregar os inversores.

Essa configuração foi escolhida para garantir que os inversores operem dentro de suas faixas ideais de tensão e corrente, maximizando a eficiência do sistema e evitando perdas ou subutilização da capacidade instalada. Além disso, a divisão em 21 strings permite maior redundância e flexibilidade na manutenção, assegurando maior confiabilidade e durabilidade do sistema.

Finalmente, foram utilizadas simulações no software System Model Advisory – SAM – para validar os cálculos realizados. O software possui base de dados integrada de dados solarimétricos, catálogo de inversores e módulos fotovoltaicos. As informações anteriormente calculadas foram inseridas no software, que possui como entradas: modelo de módulo fotovoltaico, modelo de inversor, quantidade de inversores, módulos por string, número de arrays em paralelo, entre outras informações financeiras que não foram utilizadas. O software foi utilizado para fins de validação da parte técnica enquanto a análise de viabilidade técnico econômica foi produzida em outro software.

A Tabela 10 apresenta métricas essenciais para avaliar o desempenho do sistema fotovoltaico no primeiro ano de operação. A capacidade anual AC foi de 317.518 kWh, representando a energia efetivamente gerada e disponível para consumo ou injeção na rede após as perdas nos inversores e no sistema elétrico. O fator de capacidade indica que o sistema produziu cerca de 19,6% da sua capacidade máxima teórica ao longo do ano. O rendimento energético foi de 1.716 kWh/kW, o que significa que cada 1 kW de potência instalada gerou 1.716 kWh ao longo do primeiro ano, refletindo a eficiência da conversão da energia solar em eletricidade. Além disso, o sistema apresentou um Performance Ratio (PR) de 0,83, indicando que operou com 83% de eficiência em relação ao seu potencial teórico, um valor considerado elevado

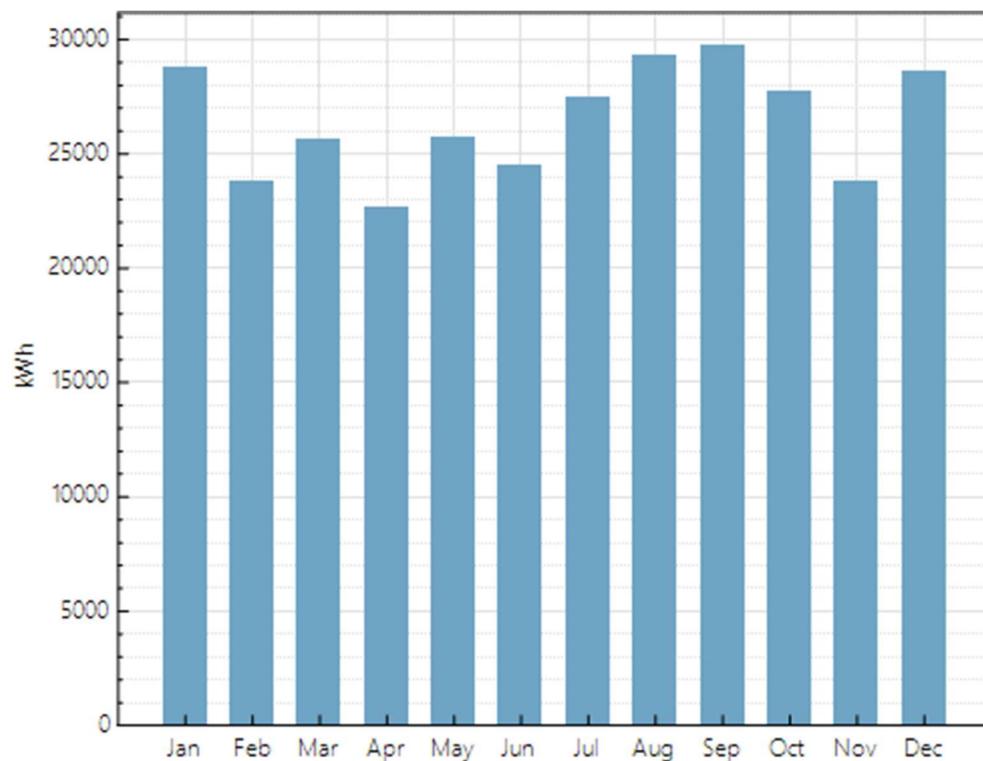
para sistemas fotovoltaicos. Esses resultados demonstram um desempenho sólido do sistema, garantindo uma boa conversão da energia solar em eletricidade utilizável.

**Tabela 12 – Resultado da simulação da miniusina fotovoltaica.**

| Métrica   | Valor        |
|---|--------------|
| Capacidade Anual AC no 1º ano                     | 317.518 kWh  |
| Fator de capacidade DC no 1º ano                  | 19,60%       |
| Rendimento energético no 1º ano                   | 1.716 kWh/kW |
| Performance Ratio (Taxa de Performance) no 1º ano | 0,83         |

Fonte: autor.

A Figura 9 apresenta a produção mensal da miniusina fotovoltaica no primeiro ano.



**Figura 11 – Produção mensal de energia elétrica AC**

Fonte: autor.

Vale destacar que o principal objetivo da autoprodução conectada à rede elétrica convencional, não é suprir a demanda de potência do ambiente produtivo, mas sim obter uma equalização financeira dos gastos com energia elétrica. Mesmo assim há também uma redução da dependência da energia elétrica fornecida pela concessionária.

Sendo assim, recomenda-se que instalação da miniusina fotovoltaica seja realizada em cima dos telhados do prédio administrativo, CTR1 e CTR2. Em quesito de área, seria possível realizar toda a instalação no prédio administrativo, porém, este

não possui um transformador que suportaria transmitir toda a potência gerada pelo sistema já que possui potência nominal de 150 kVA, inferior aos 180kWac do sistema gerador de energia elétrica. A instalação de um inversor em cada prédio, com 112 módulos evita esse problema, reduzindo também a concentração de peso adicional em cada cobertura.

### 6.3. ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Somando-se todas as medidas propostas de efficientização, que culminou na proposta de substituição de 1093 equipamentos elétricos, conforme descrito na Tabela 11, pode-se gerar uma economia anual de energia elétrica de até 100.164 kWh.

**Tabela 13 – Economia anual de energia**

| Equipamento Substituído          | Qtd  | Economia de Energia kWh/ano |
|----------------------------------|------|-----------------------------|
| Lâmpada Iluminação externa 400W  | 71   | 52.140                      |
| Lâmpada fluorescente tubular 32W | 152  | 4.377,6                     |
| Lâmpada fluorescente tubular 54W | 866  | 43.646,4                    |
| Total                            | 1093 | 100.164                     |

Fonte: autor.

### 6.4. REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 RESULTANTE DAS INTERVENÇÕES

A análise da redução das emissões de carbono resultante da implementação do planejamento energético na CENTCOOP deve ser feita em duas etapas: redução do consumo anual; produção de energia solar fotovoltaica em comparação com o inventário do SIN.

Para a primeira etapa desta análise, multiplica-se o valor da economia anual de energia elétrica oriunda da substituição de equipamentos elétricos mais eficientes pelo fator de emissão de CO2 médio anual na geração de energia elétrica no Brasil, medido em tCO2/MWh. O valor do fator de emissão em 2024 foi de 0,0545 tCO2/MWh.

Com isso tem-se que:

$$\text{Emissões Evitadas Substituição} = \text{Economia de Energia} * \text{Fator Médio SIN}$$

$$\text{Emissões Evitadas Substituição} = 100,164 \text{ [MWh]} * 0,0545 \text{ [tCO}_2\text{/MWh]}$$

$$\text{Emissões Evitadas Substituição} = 5,4589 \text{ [tCO}_2\text{]}$$

O cálculo da redução de emissões de CO2 devido à produção de energia elétrica fotovoltaica é realizado utilizando como base a diferença entre o fator de emissão de CO2 médio anual na geração de energia elétrica no Brasil e o fator de emissão do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica. Conforme destaca

Guerreiro (2023, p.2844), para sistemas fotovoltaicos instalados em áreas de alta irradiação solar, a média de emissões de tCO<sub>2</sub>/MWh é de 0,0361.

$$\text{Emissões Evitadas Sist. FV} = \text{Prod Anual} * (\text{Fator Médio SIN} - \text{Fator Médio FV})$$

$$\text{Emissões Evitadas Sist. FV} = 300 [\text{MWh}] * (0,0545 - 0,0361 [\text{tCO}_2/\text{MWh}])$$

$$\text{Emissões Evitadas Sist. FV} = 5,52 [\text{tCO}_2]$$

Portanto, ao se utilizar um sistema fotovoltaico para produzir energia elétrica, seja para consumo próprio ou injeção no SIN, está se evitando emissão de até 5,52 toneladas de carbono equivalente na atmosfera.

Somando-se as duas medidas de redução de emissões de gases do efeito estufa é possível encontrar a redução total de emissão de GEE decorrente da implementação do planejamento energético desenvolvido para a CENTCOOP:

$$\text{Emissões Evitadas Total} = \text{Emissões Evitadas Subst.} + \text{Emissões Evitadas Sist. FV}$$

$$\text{Emissões Evitadas Total} = 5,46 + 5,52 [\text{tCO}_2]$$

$$\text{Emissões Evitadas Substituição} = 10,98 \cong 11 [\text{tCO}_2]$$

## 6.5. POTENCIAL DE EMISSÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Em 21 de fevereiro de 2025, o crédito de carbono (CBIO) era negociado na B3 a R\$ 72,37. Esse mecanismo financeiro busca valorizar reduções de emissões de gases de efeito estufa e está atrelado ao RenovaBio, um programa brasileiro que valoriza a produção sustentável de biocombustíveis por meio da geração e comercialização de créditos de carbono. Devido à ausência de um mercado centralizado de comercialização de créditos de carbono amplo, o CBIO será utilizado como referência para o cálculo de receita referente a esse tema.

No planejamento energético da CENTCOOP, as medidas implementadas possibilitaram uma redução total de aproximadamente 11 tCO<sub>2</sub>, o que se traduz em um potencial de venda em torno de R\$ 800, evidenciando a viabilidade econômica dos projetos sustentáveis.

Embora esse valor não seja algo relevante para a CENTCOOP, a receita vem livre de obrigações, no momento, e pode ser uma receita extra. Entretanto, deve-se destacar que é uma boa maneira de introduzir o tema aos membros do CENTCOOP e pode ajudar a abrir caminhos para uma receita maior oriunda dos créditos de carbono referentes à sua atividade principal, a reciclagem de materiais.

## 6.6. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Esta seção é dedicada a apresentar os resultados da análise financeira relacionada a implementação das propostas de intervenção. A análise será dividida em três partes, semelhante a maneira como foi realizada a análise técnica.

Primeiramente, analisou-se a viabilidade da implementação da miniusina fotovoltaica.

A Tabela 12 apresenta os principais parâmetros técnicos e financeiros que serão utilizados para alimentar os modelos de fluxo de caixa e análise de viabilidade do projeto. Considerando uma potência fotovoltaica, de 182,8 kWp, que indica a capacidade instalada do sistema em condições ideais, sendo um dado crucial para dimensionar a produção e estabelecer a base dos cálculos de geração de energia. Em seguida, a estimativa de 300.000 kWh/ano para o primeiro ano representa a energia prevista para ser gerada, servindo como referência inicial para as projeções futuras, sobretudo considerando a aplicação da taxa de degradação, que impacta a eficiência dos módulos solares ao longo dos anos.

**Tabela 14 – Inputs análise financeira miniusina fotovoltaica**

| Dados                  |                |          |  |
|------------------------|----------------|----------|--|
| Inputs                 | Valores        | Unidades |  |
| Potência FV            | 182,8          | kWp      |  |
| Energia anual ano 1    | 300000         | kWh/ano  |  |
| Tarifa da energia      | 0,60           | R\$/kWh  |  |
| Taxa de desconto       | 0,06           | % a.a    |  |
| Despesa de O&M         | 0,50           | % a.a    |  |
| Custo de instalação FV | 5              | R\$/W    |  |
| Taxa de degradação     | 0,005          |          |  |
| Investimento inicial   | R\$ 914.000,00 |          |  |

Fonte: autor.

A tarifa de energia de R\$0,60/kWh é outro parâmetro fundamental, pois possibilita a conversão da energia produzida em valores monetários, permitindo, assim, a avaliação da economia ou receita decorrente da geração própria de energia. Para a análise econômica, a taxa de desconto de 6% ao ano é aplicada para atualizar os fluxos de caixa futuros ao valor presente, o que é essencial para a determinação de indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Complementando essa estrutura, a despesa de operação e manutenção de 0,50% ao ano reflete os custos recorrentes necessários para manter o sistema operante e em condições ideais, influenciando diretamente os resultados financeiros ao longo da vida útil do projeto.

O custo de instalação de R\$5/W permite calcular o investimento total necessário ao multiplicar-se esse valor pela potência instalada, evidenciando o montante requerido para a implementação do sistema fotovoltaico. Ademais, a taxa de degradação de 0,005 (ou 0,5% ao ano) ajusta as projeções de geração de energia para considerar a perda gradual de eficiência dos equipamentos. Por fim, o investimento inicial de R\$914.000,00 reúne todos os custos iniciais, desde a aquisição dos equipamentos até a instalação e demais despesas relacionadas. Cada um desses inputs é fundamental para a elaboração de uma análise técnica robusta, que servirá de base para a mensuração dos indicadores econômicos e para a avaliação da viabilidade financeira do projeto.

A Tabela 13 contém os primeiros anos do fluxo de caixa para melhor compreensão das etapas utilizadas para calcular os indicadores financeiros. Há, entretanto, nos anexos deste texto sua versão completa.

**Tabela 15 – Fluxo de caixa miniusina fotovoltaica**

| Fluxo de caixa                    |                        | 0                      | 1                      | 2             |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Ano                               |                        |                        |                        |               |
|                                   | -R\$                   |                        |                        |               |
| Investimento inicial              | 914.000,00             |                        |                        |               |
| Operação e manutenção             |                        | -R\$ 4.570,00          | -R\$ 4.570,00          |               |
| Produção anual deteriorada [kWh]  |                        | 300000,00              | 298500,00              |               |
| Valor presente da produção [kWh]  |                        | 0                      | 283018,87              | 265663,9373   |
| Soma da produção descontada [kWh] |                        | 0                      | 283018,87              | 548682,81     |
| Valor energia economizada         |                        |                        | R\$180.000,00          | R\$179.100,00 |
|                                   | -R\$                   | R\$                    | R\$                    |               |
| Saldo                             | 914.000,00             | 175.430,00             | 174.530,00             |               |
| Valor presente                    | <b>-R\$ 914.000,00</b> | R\$ 165.500,00         | R\$ 155.331,08         |               |
| Soma do valor presente            | <b>-R\$ 914.000,00</b> | <b>-R\$ 748.500,00</b> | <b>-R\$ 593.168,92</b> |               |
| LCOE [R\$/kWh]                    |                        | 0                      | -2,6447                | -1,081078021  |

Fonte: autor.

Este fluxo de caixa apresenta a análise financeira do projeto ao longo de 25 anos, demonstrando a evolução dos custos, das receitas e do desempenho econômico do investimento. No ano zero, é registrado o investimento inicial de R\$914.000,00, que representa o desembolso necessário para a instalação da miniusina fotovoltaica. A partir do primeiro ano, é considerada uma despesa anual de operação e manutenção no valor de R\$4.570,00, refletindo os custos recorrentes para manter o sistema em funcionamento e em boas condições operacionais.

A produção anual de energia, expressa em kWh, inicia com 300.000 kWh no primeiro ano, sofrendo um decréscimo progressivo devido à taxa de degradação dos equipamentos, passando para 298.500 kWh no segundo ano e continuando essa

redução ao longo do período analisado. Essa deterioração é refletida também no valor presente da produção, que é calculado descontando a produção anual pelo fator de desconto (6% ao ano), permitindo uma avaliação mais realista do valor da energia gerada ao longo do tempo. A soma acumulada desses valores presentes da produção mostra como a geração de energia se comporta de forma descontada, evidenciando a perda de valor ao longo dos anos.

Paralelamente, a economia obtida com a energia gerada é convertida em valores monetários, iniciando com R\$180.000,00 no primeiro ano e sofrendo uma ligeira redução ano a ano. Esse valor reflete a economia direta na conta de energia, considerando a tarifa de R\$0,60 por kWh. O saldo apresentado na tabela demonstra o fluxo anual líquido, onde o investimento inicial é compensado gradualmente pelas economias geradas, apesar dos custos de manutenção. Em seguida, o fluxo é descontado anualmente para se obter o valor presente de cada ano, e a soma cumulativa desses valores presentes permite identificar o ponto de equilíbrio do projeto, que ocorre entre o sexto e o sétimo ano, momento em que a soma acumulada deixa de ser negativa e passa a indicar retorno sobre o investimento.

O fluxo de caixa apresenta o cálculo do LCOE (custo nivelado de energia), que é um indicador que relaciona os custos totais do projeto com a energia gerada ao longo de sua vida útil, ajustado ao valor presente. Nos primeiros anos, o LCOE apresenta valores negativos, indicando que, neste período, os benefícios (em termos de economia na conta de energia) superam os custos associados, mas, com o tempo, esse valor vai se tornando positivo, refletindo o custo efetivo de geração de energia. Essa evolução é fundamental para a análise de viabilidade econômica, permitindo comparar o custo da energia gerada com outras fontes e avaliar o desempenho financeiro do investimento ao longo dos 25 anos analisados.

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos dessa simulação.

**Tabela 16 – Indicadores financeiros miniusina fotovoltaica**

| Indicadores Financeiros |                  |
|-------------------------|------------------|
| VPL                     | R\$ 1.224.208,31 |
| TIR                     | 12%              |
| Payback Descontado      | 6,8 anos         |
| ROI                     | 33,94%           |
| LCOE [R\$/kWh]          | 0,33             |

Fonte: autor.

O Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é robusto, superando um milhão de reais, e o ponto de equilíbrio é alcançado em menos de 7 anos. Contudo, a Taxa

Interna de Retorno (TIR) encontra-se abaixo da meta da taxa SELIC – 13,25% a.a em fevereiro de 2025 –, que, embora sirva como referência para o custo de oportunidade do capital, pode ser ajustada para incorporar prêmios de risco específicos de cada empreendimento. Apesar dos debates intensos entre especialistas sobre se o atual patamar de juros é favorável à economia, a viabilidade do projeto se consolida quando se consideram seus benefícios ambientais e a possibilidade de captação de recursos por meio de financiamentos adequados ou editais de eficiência promovidos pela concessionária.

Dando sequência a análise, esta seção analisa a viabilidade econômica da substituição do sistema de iluminação interno, fluorescente, por uma solução baseada em tecnologia LED. São apresentados os principais parâmetros financeiros, como a tarifa de energia, o investimento inicial, a taxa de desconto e a economia anual de energia, que servem de base para a avaliação do projeto. Além disso, são detalhados os equipamentos a serem utilizados – lâmpadas LED de 26W e 16W –, incluindo quantidade, custo unitário e vida útil, os quais fundamentam o cálculo dos indicadores financeiros. O fluxo de caixa, estruturado ao longo de três anos, evidencia o potencial de retorno do investimento e a eficiência da solução em termos de redução de custos operacionais e impacto ambiental.

Os inputs dessa análise estão descritos na Tabela 15 e Tabela 16.

**Tabela 17 – Inputs substituição de lâmpadas tubulares**

| Dados                |               |              |
|----------------------|---------------|--------------|
| Inputs               | Valores       | Unidades     |
| Tarifa da energia    |               | 0,60 R\$/kWh |
| Taxa de desconto     |               | 0,06 % a.a   |
| Investimento inicial | R\$ 59.380,60 |              |
| Economia Anual       | 48024         | kWh          |

Fonte: autor.

**Tabela 18 – Custo total de lâmpadas tubulares**

| Equipamento     | qtd | Custo Unitário | Vida útil [anos] | Total         |
|-----------------|-----|----------------|------------------|---------------|
| Lâmpada Led 26W | 866 | R\$ 63,90      | 2,85             | R\$ 55.337,40 |
| Lâmpada Led 16W | 152 | R\$ 26,60      | 2,85             | R\$ 4.043,20  |
| Total           |     |                |                  | R\$ 59.380,60 |

Fonte: autor.

A Tabela 17 sintetiza os principais indicadores financeiros que demonstram a viabilidade e o potencial de retorno do investimento. Os dados incluem o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Payback Descontado e o

Retorno sobre Investimento (ROI), proporcionando uma visão consolidada dos benefícios econômicos do projeto.

**Tabela 19 - Indicadores financeiros substituição da Iluminação**

| Indicadores Financeiros |               |
|-------------------------|---------------|
| VPL                     | R\$ 17.640,64 |
| TIR                     | 15%           |
| Payback Descontado      | 2,27          |
| ROI                     | 29,71%        |

Fonte: autor.

O Valor Presente Líquido (VPL) de R\$17.640,64 indica que, ao trazer todos os fluxos de caixa futuros para o valor presente utilizando a taxa de desconto de 6% ao ano, o projeto gera um excedente em relação ao investimento inicial, evidenciando que ele adiciona valor e é financeiramente viável. A Taxa Interna de Retorno (TIR) de 15% representa o rendimento efetivo anual do investimento; por estar acima da taxa de desconto, confirma que o retorno projetado é superior ao custo de oportunidade do capital investido. O Payback Descontado de 2,27 anos demonstra que, descontando o valor do dinheiro no tempo, o projeto recupera o investimento inicial em pouco mais de dois anos, o que ressalta a rapidez na recuperação dos recursos aplicados. Por fim, o ROI de 29,71% revela que, ao final do período analisado, o retorno líquido alcançado corresponde a quase 30% do capital investido, evidenciando uma boa rentabilidade do projeto.

A última etapa da análise de viabilidade econômica consiste em analisar a iluminação externa. Para isso os mesmos parâmetros da simulação anterior foram utilizados alterando-se somente o investimento inicial e a economia de energia anual.

Considerou-se um preço unitário por equipamento de R\$ 1.000,00, totalizando R\$ 71.000,00, uma vida útil de 12 anos, e utilizando os dados de economia de energia anteriormente mencionados obteve-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 18.

**Tabela 20 – Indicadores financeiros substituição da iluminação externa.**

| Indicadores Financeiros |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | R\$ 191.306,52 |
| TIR                     | 35%            |
| Payback Descontado      | 2,5            |
| ROI                     | 269,45%        |

Fonte: autor.

O Valor Presente Líquido (VPL) de R\$191.306,52 representa o montante de valor que o projeto adiciona, após trazer todos os fluxos de caixa futuros para o valor presente utilizando a taxa de desconto. Um VPL positivo indica que os ganhos gerados pelo projeto superam o investimento inicial, evidenciando sua viabilidade econômica.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de 35% é a taxa de desconto que zera o VPL, demonstrando a rentabilidade percentual anual do projeto. Essa taxa elevada sugere que o projeto gera retornos significativamente superior ao custo de oportunidade do capital, reforçando sua atratividade do ponto de vista financeiro.

O Payback Descontado de 2,5 anos indica o período necessário para recuperar o investimento inicial, considerando a depreciação do valor do dinheiro ao longo do tempo. Esse índice mostra que, em pouco tempo, o projeto gera fluxo de caixa suficiente para quitar o capital investido, o que contribui para reduzir o risco associado à iniciativa.

Por fim, o ROI (Retorno sobre Investimento) de 269,45% expressa a relação entre o lucro líquido obtido e o montante investido. Um ROI tão elevado evidencia que o projeto não só recupera o capital investido como também proporciona um lucro expressivo, confirmando sua eficiência e potencial de geração de valor a longo prazo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em síntese, os resultados da análise financeira demonstram a viabilidade e o potencial de retorno dos investimentos propostos, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e a eficiência energética. A miniusina fotovoltaica, apesar de demandar um investimento inicial elevado, apresenta indicadores robustos, com um VPL superior a R\$1,2 milhão e um payback descontado de 6,8 anos, evidenciando que os benefícios a longo prazo compensam o desembolso inicial. Por outro lado, a substituição da iluminação interna por tecnologia LED se destaca pela rápida recuperação do investimento, com um payback de pouco mais de dois anos e indicadores que confirmam a atratividade do projeto, mesmo com um investimento significativamente menor. A análise da iluminação externa, com um ROI expressivo de 269,45% e uma TIR de 35%, ressalta a eficiência econômica e a rápida reversão do capital investido, corroborando a excelente performance do projeto. Assim, as propostas de intervenção não apenas promovem uma significativa redução nos custos operacionais e impactos ambientais, mas também se configuram como estratégias

financeiramente sólidas e competitivas, alinhadas com as demandas contemporâneas por soluções sustentáveis e inovadoras.

## 7. CONCLUSÃO

É urgente e imprescindível a necessidade em agir para mitigar os efeitos da mudança climática. Caso não o faça a humanidade põe em xeque sua própria existência, afetando especialmente as camadas mais pobres da sociedade que sempre são as primeiras e as mais afetadas por eventos climáticos catastróficos, falta de alimentos, alta nos preços dos recursos e crises econômicas.

As cooperativas de reciclagem possuem um papel crucial socioambiental na luta contra a mudança climática. Além de reinserirem no ciclo produtivo materiais que seriam simplesmente descartados e jogados em aterros ou lixões, propiciam empregos e dignidade à trabalhadores que são muitas vezes negligenciados pela sociedade.

É papel da academia buscar se conectar com a sociedade propondo soluções que reflitam não só sua vontade em propor soluções científicas e elegantes, mas também atendam a necessidade do usuário. Para isso é necessário que se faça uma escuta ativa, investigando sempre os problemas a fundo e por inteiro.

Nesse sentido, buscou-se desenvolver uma solução que não fosse somente uma maneira mais limpa de se produzir a energia utilizada pela Central de Cooperativas, mas que repensasse toda sua cadeia produtiva e cada equipamento utilizado durante o processo.

A proposta de substituição de equipamentos de iluminação por equipamentos mais eficientes alia não só a necessidade por potencializar os lucros dos catadores, mas também representa um ganho ambiental ao se reduzir emissões de gases do efeito estufa.

As soluções devem se adaptar a realidade dos usuários e não o contrário, portanto embora a proposta de intervenção seja simples, é o que se pode sugerir atualmente na realidade da CENTCOOP.

O estudo identificou, por meio de visitas técnicas, a necessidade de intervenções na CENTCOOP devido à desgaste por uso e à falha frequente do maquinário, agravada pela falta de manutenção preventiva.

Constatou-se que, em decorrência da escassez de recursos, equipamentos destinados originalmente à remoção de rejeitos foram desmontados para reparar esteiras principais, comprometendo a eficiência operacional.

Paralelamente, a análise das instalações de iluminação evidenciou que a substituição de lâmpadas de vapor metálico de 400W por alternativas LED, como as

Luminárias LED Philips RoadForce 196W, poderia reduzir significativamente o consumo de energia externa, passando de 102.240 kWh/ano para 50.100 kWh/ano, gerando uma economia anual de aproximadamente R\$31.284,00. No ambiente interno, a avaliação separou lâmpadas de 54W, utilizadas em áreas produtivas, e lâmpadas de 32W, presentes em ambientes administrativos, demonstrando que a troca por modelos LED também reduziria o consumo e os custos operacionais, com economias anuais de cerca de R\$26.187,84 e R\$2.626,56, respectivamente.

Além disso, o estudo propôs a implementação de uma miniusina fotovoltaica, dimensionada com base no consumo anual da CENTCOOP e dados solarimétricos (GHI de 5,64 kWh/m<sup>2</sup>/dia e PR de 0,80), para fornecer 182,8 kW de potência de corrente contínua por meio de aproximadamente 336 painéis solares, utilizando inversores Canadian Solar CSI-60KTL-CT configurados em 21 strings de 16 módulos.

As simulações indicaram uma produção anual de cerca de 317.518 kWh, com desempenho eficiente, evidenciado por um rendimento de 1.716 kWh/kW e performance ratio de 0,83. Combinadas, as medidas de substituição de equipamentos e de iluminação, junto à implantação da miniusina, podem reduzir o consumo anual em até 100.164 kWh e evitar aproximadamente 11 toneladas de CO<sub>2</sub>, além de gerar potencial para receita adicional por meio de créditos de carbono.

A análise de viabilidade econômica demonstrou a robustez dos investimentos, com a miniusina fotovoltaica apresentando um VPL superior a R\$1,2 milhão, TIR de 12% e payback de 6,8 anos, enquanto os projetos de substituição da iluminação interna e externa evidenciaram retornos rápidos, com payback entre 2 e 2,5 anos, alta rentabilidade e significativa redução dos custos operacionais, confirmando a estratégia sustentável e economicamente viável para a CENTCOOP. Os valores poderiam ser ainda mais significativos caso a vida útil das lâmpadas led tubulares fosse maior.

Sugere-se a instalação da usina fotovoltaica não seja apenas uma forma de baratear a energia elétrica utilizada, mas uma forma de reafirmar o compromisso da CENTCOOP em combater a mudança climática. Para isso deve-se divulgar essa nova instalação como maneira de promover o compromisso da Central de Cooperativas com o planeta.

Como sugestão de trabalho futuro, propõe-se a elaboração de um plano de manutenção e substituição de equipamentos e materiais. Sugere-se também a elaboração de um estudo de cálculo estrutural nos dos prédios para assegurar-se de

que a implementação dos painéis fotovoltaicos não comprometerá a segurança das edificações. Sugere-se por fim, um estudo de engenharia de produção para averiguar se a substituição de maquinário mais e mais eficiente, bem como a retomada da implementação de equipamentos de pré-processamento semimecanizada.

Parafraseando Aline Souza, catadora e liderança dos cooperados, em evento do Erasmus+ em Brasília: o papel da universidade não é tomar decisões ou agir de maneira independente das cooperativas, mas trabalhar em conjunto com estudos e conhecimento técnico para lutar por melhores condições.

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2023. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2024/03/Panorama\\_2023\\_P1.pdf](https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf)>.

BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo L. **Eficiência Energética - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 9788536518404. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518404/>. Acesso em: 11 set. 2024.

CALVIN, K. et al. IPCC, 2023: **Climate Change 2023: Synthesis Report, summary for Policymakers. Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. (P. Arias et al., Eds.) Geneva, Switzerland Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647.001>

COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DA CAPITAL (NOVACAP); GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Memorial descritivo do projeto de implantação das instalações Elétricas, cabeamento estruturado, segurança, sonorização e SPDA**. [s.l.: s.n.].

DUNLOP, T. **Energy efficiency: The evolution of a motherhood concept**. *Social studies of science*, v. 52, n. 5, p. 710–732, 2022.

FANTOZZI, F.; BARTOCCI, P. **Carbon footprint as a tool to limit greenhouse gas emissions**. Em: **Greenhouse Gases**. [s.l.] InTech, 2016.

GALVÃO, W. Estrutural: maior lixão da América Latina será desativado a partir de hoje. *Correio Braziliense*, 20 jan. 2018.

GUERREIRO, L. R.; PACCA, S. A. **Emissões do ciclo de vida de CO<sub>2</sub>, emissões evitadas e tempo de recuperação de energia para sistemas fotovoltaicos no Brasil**. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 6, p. 2834–2849, 2023.

HAMMOND, G. **Time to give due weight to the “carbon footprint” issue**. *Nature*, v. 445, n. 7125, p. 256–256, 2007.

HASAN, A. S. M. M.; TRIANNI, A. **A review of energy management assessment models for industrial energy efficiency**. *Energies*, v. 13, n. 21, p. 5713, 2020.

HAQUE, N. The life cycle assessment of various energy technologies. Em: **Future Energy**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 633–647. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 50001:2018 – **Energy management systems: requirements with guidance for use**. ISO, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14067:2018 – **Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification**: ISO, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e). Disponível em: [https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/?utm\\_source=chatgpt.com#](https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/?utm_source=chatgpt.com#). Acesso em: 21 jan. 2025.

JOSÉ VINAGRE DÍAZ, J.; RICHARD WILBY, M.; BELÉN RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, A. **Setting up GHG-based energy efficiency targets in buildings: The Ecolabel**. *Energy policy*, v. 59, p. 633–642, 2013.

MESQUITA, J. L. C. et al. **Greenhouse gas emission reduction based on social recycling: A case study with waste picker cooperatives in Brasília, Brazil**. *Sustainability*, v. 15, n. 12, p. 9185, 2023.

PEREIRA, A. S. et al. **Metodologia Da Pesquisa Científica**. 1a ed. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

PUSHPO, F. H.; UDDIN, M. K. **Strategic energy management: Exploring the benefits of ISO 50001 implementation through case study**. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Anais...Michigan, USA: IEOM Society International, 2023.

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA. **Relatório Anual 2023**. Disponível em: <<https://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/RELATORIO-ANUAL-SLU-2023.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2024.

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA. **Relatório Crise Lixão**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/relatorio\\_crise\\_lixao.pdf](http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/relatorio_crise_lixao.pdf)>.

SILVA, S. P. **A Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**. Brasília - DF BrasilLivraria Ipea, 2017. Disponível em: <[https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2268.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2268.pdf)>

SOUZA, M. T. S. DE; PAULA, M. B. DE; SOUZA-PINTO, H. DE. **O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo**. *RAE*, v. 52, n. 2, p. 246–262, 2012.

TOLLEFSON, J. **Climate change is hitting the planet faster than scientists originally thought.** Nature, 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource.** [s.l.] United Nations Environment Programme, 2024.

**Universidade de Brasília - Missão.** Disponível em: <<https://unb.br/a-unb/missao>>. Acesso em: 17 set. 2024.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth.** Gabriola Island, USA: New Society, 1995.

WEBSTER, M. The circular economy in low- and Middle-income Countries – A tool for sustainable development? Em: **The Circular Economy.** [s.l.] Royal Society of Chemistry, 2023. p. 65–91.

## ANEXOS

### ANEXO A - SIMULAÇÃO SAM

#### Solar Resource Library

The Solar Resource library is a list of weather files on your computer. Choose a file from the library and verify the weather data information below.

The default library comes with only a few weather files to help you get started. Use the download tools below to build a library of locations you frequently model. Once you build your library, it is available for all of your work in SAM.

Filter:  Name v

| Name   | Latitude | Longitude | Time zone | Elevation | Station ID | Source |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------|
| phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy      | 33.45    | -111.98   | -7        | 358       | 78208      | NSRDB  |
| phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy...   | 33.45    | -111.98   | -7        | 358       | 78208      | NSRDB  |
| tucson_az_32.116521_-110.933042_psmv3_60_tmy       | 32.13    | -110.94   | -7        | 773       | 67345      | NSRDB  |
| -15.7801_-47.9292_-15.7801_-47.9292_nsrdb-GOES-... | -15.79   | -47.94    | -3        | 1142      | 1888579    | NSRDB  |
| -15.7939_-47.9649_-15.7939_-47.9649_nsrdb-GOES-... | -15.79   | -47.98    | -3        | 1120      | 1888064    | NSRDB  |

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing valid weather files.

C:\Users\Joao Vitor\SAM Downloaded Weather Files
v

---

#### Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library; Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or uncertainty (P50/P90) analyses. See Help for details.

One location   
  Multiple locations   
  Advanced download

[For locations not covered by the NSRDB, visit the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

---

#### Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file:

**-Header Data from Weather File-**

|  |   |
|--|---|
| Latitude: <input type="text" value="-15.79"/> degrees  | Location: <input type="text" value="1888064"/>  |
| Longitude: <input type="text" value="-47.98"/> degrees | Data Source: <input type="text" value="NSRDB"/> |
| Time zone: <input type="text" value="GMT -3"/>         |   |
| Elevation: <input type="text" value="1120"/> m         |   |
| Time step: <input type="text" value="60"/> minutes     |   |

For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.

**-Annual Averages Calculated from Weather File Data-**

|   |   |
|---|---|
| Global horizontal: <input type="text" value="5.64"/> kWh/m <sup>2</sup> /day    | <b>-Optional Data-</b>                                  |
| Direct normal (beam): <input type="text" value="5.74"/> kWh/m <sup>2</sup> /day | Maximum snow depth: <input type="text" value="NaN"/> cm |
| Diffuse horizontal: <input type="text" value="1.86"/> kWh/m <sup>2</sup> /day   | Annual albedo: <input type="text" value="0.151"/>       |
| Average temperature: <input type="text" value="22.0"/> °C                       |   |
| Average wind speed: <input type="text" value="2.0"/> m/s                        | *NaN indicates missing data.                            |

Figura A.1 – Dados Solarimétricos SAM

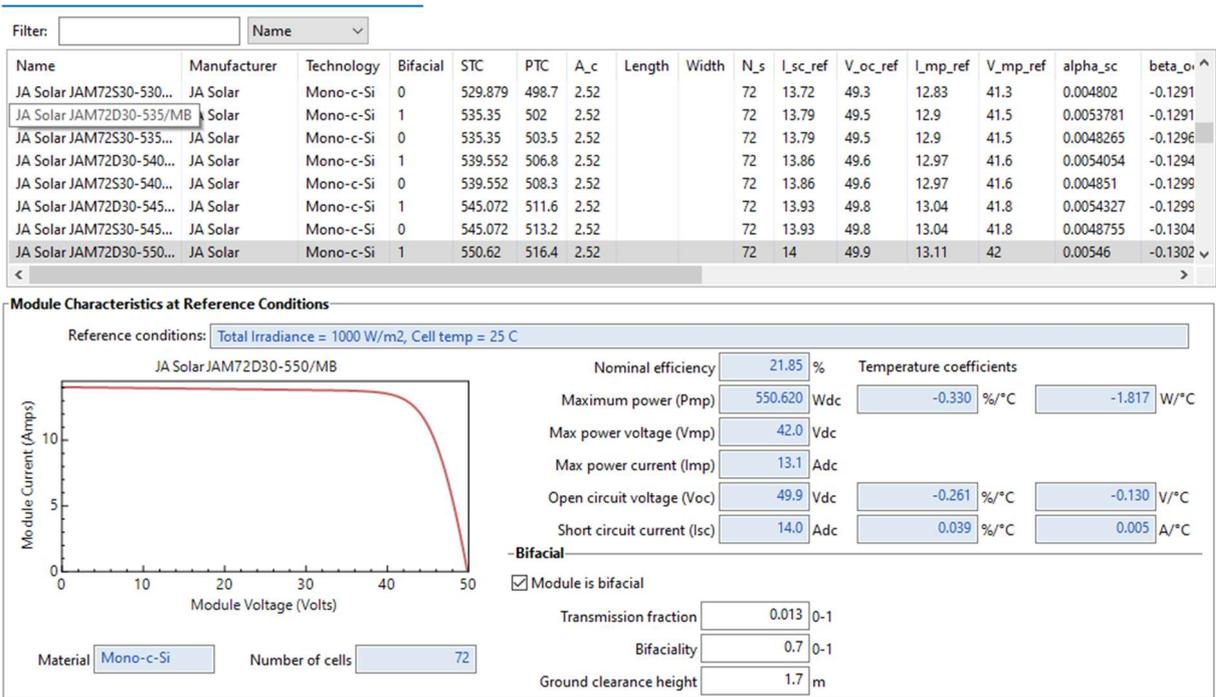


Figura A.2 – Módulo fotovoltaico

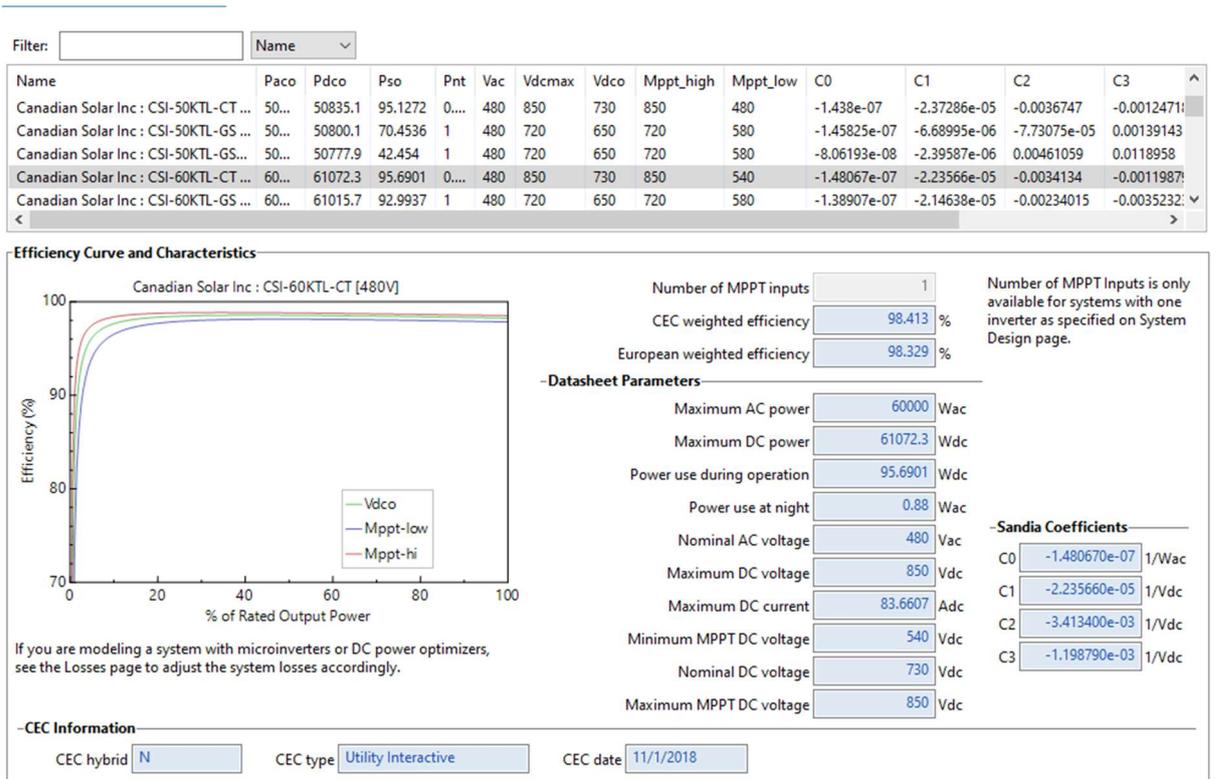


Figura A.3 – Inversor

| AC Sizing   |                                    | Sizing Summary  |   |                                 |   |
|---|------------------------------------|---|---|---------------------------------|---|
| Number of inverters   | <input type="text" value="3"/>     | Nameplate DC capacity   | <input type="text" value="185.008"/> kWdc | Number of modules               | <input type="text" value="336"/>                    |
| DC to AC ratio  | <input type="text" value="1.03"/>  | Total AC capacity   | <input type="text" value="180.000"/> kWac | Number of strings               | <input type="text" value="21"/>                     |
| Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.  |                                    | Total inverter DC capacity  | <input type="text" value="183.217"/> kWdc | Total module area               | <input type="text" value="846.720"/> m <sup>2</sup> |
| <input type="checkbox"/> Estimate Subarray 1 configuration  |                                    | System and subarray capacity and voltage ratings are at module reference conditions shown on the Module page. |   |                                 |   |
| DC Sizing and Configuration   |                                    |   |   |                                 |   |
| To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties. |                                    |   |   |                                 |   |
|   |                                    | Subarray 1  | Subarray 2                                | Subarray 3                      | Subarray 4  |
| <b>-Electrical Configuration-</b>   |                                    | (always enabled)  | <input type="checkbox"/> Enable           | <input type="checkbox"/> Enable | <input type="checkbox"/> Enable                     |
| Modules per string in subarray  | <input type="text" value="16"/>    |   |   |                                 |   |
| Strings in parallel in subarray   | <input type="text" value="21"/>    |   |   |                                 |   |
| Number of modules in subarray   | <input type="text" value="336"/>   |   |   |                                 |   |
| String Voc at reference conditions (V)  | <input type="text" value="798.4"/> |   |   |                                 |   |
| String Vmp at reference conditions (V)  | <input type="text" value="672.0"/> |   |   |                                 |   |
| <b>-Multiple MPPT Inputs-</b>   |                                    |   |   |                                 |   |
| <input type="button" value="Set MPPT inputs"/>  | <input type="text" value="1"/>     | Set MPPT inputs when Number of MPPT Inputs on the Inverter page is greater than 1.                            |   |                                 |   |
| <b>-Tracking &amp; Orientation-</b>   |                                    |   |   |                                 |   |
| <input checked="" type="radio"/> Fixed  |                                    |   |   |                                 |   |

Figura A.4 - Design do Sistema

## ANEXO B – ANÁLISES FINANCEIRAS

| Dados                  |                |          | Indicadores Financeiros |                  |
|------------------------|----------------|----------|-------------------------|------------------|
|                        | Valores        | Unidades |                         |                  |
| Inputs                 |                |          | VPL                     | R\$ 1.224.208,31 |
| Potência FV            | 182,8          | kWp      | TIR                     | 12%              |
| Energia anual ano 1    | 300000         | kWh/ano  | Payback Descontado      | 6,8 anos         |
| Tarifa da energia      | 0,60           | R\$/kWh  | ROI                     | 33,94%           |
| Taxa de desconto       | 0,06           | % a.a    | LCOE [R\$/kWh]          | 0,33             |
| Despesa de O&M         | 0,50           | % a.a    |                         |                  |
| Custo de instalação FV | 5              | R\$/W    |                         |                  |
| Taxa de degradação     | 0,005          |          |                         |                  |
| Investimento inicial   | R\$ 914.000,00 |          |                         |                  |

Figura B.1 – Dados e indicadores financeiros análise financeira miniusina fotovoltaica.

| Fluxo de caixa                    | 0               | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6              | 7              | 8              |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ano                               |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |
| Investimento inicial              | -R\$ 914.000,00 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |
| Operação e manutenção             |                 | -R\$ 4.570,00   | -R\$ 4.570,00  | -R\$ 4.570,00  | -R\$ 4.570,00  |
| Produção anual deteriorada [kWh]  |                 | 300000,00       | 298500,00       | 297000,00       | 295500,00       | 294000,00       | 292500,00      | 291000,00      | 289500,00      |
| Valor presente da produção [kWh]  | 0               | 283018,87       | 265663,9373     | 249366,9271     | 234063,6775     | 219693,9028     | 206200,9581    | 193531,6201    | 181635,8815    |
| Soma da produção descontada [kWh] | 0               | 283018,87       | 548682,81       | 798049,73       | 1032113,41      | 1251807,31      | 1458008,27     | 1651539,89     | 1833175,77     |
| Valor energia economizada         |                 | R\$180.000,00   | R\$179.100,00   | R\$178.200,00   | R\$177.300,00   | R\$176.400,00   | R\$175.500,00  | R\$174.600,00  | R\$173.700,00  |
| Saldo                             | -R\$ 914.000,00 | R\$ 175.430,00  | R\$ 174.530,00  | R\$ 173.630,00  | R\$ 172.730,00  | R\$ 171.830,00  | R\$ 170.930,00 | R\$ 170.030,00 | R\$ 169.130,00 |
| Valor presente                    | -R\$ 914.000,00 | R\$ 165.500,00  | R\$ 155.331,08  | R\$ 145.783,10  | R\$ 136.818,34  | R\$ 128.401,37  | R\$ 120.498,91 | R\$ 113.079,66 | R\$ 106.114,25 |
| Soma do valor presente            | -R\$ 914.000,00 | -R\$ 748.500,00 | -R\$ 593.168,92 | -R\$ 447.385,83 | -R\$ 310.567,49 | -R\$ 182.166,11 | -R\$ 61.667,21 | R\$ 51.412,45  | R\$ 157.526,71 |
| LCOE [R\$/kWh]                    | 0               | -2,6447         | -1,081078021    | -0,560598929    | -0,30090442     | -0,145522488    | -0,042295514   | 0,031130009    | 0,085931043    |

Figura B.2 – Fluxo de caixa miniusina fotovoltaica parte 1.

| Fluxo de caixa                    | 9              | 10             | 11             | 12             | 13             | 14             | 15             | 16             |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ano                               |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Investimento inicial              |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Operação e manutenção             | -R\$ 4.570,00  |
| Produção anual deteriorada [kWh]  | 288000,00      | 286500,00      | 285000,00      | 283500,00      | 282000,00      | 280500,00      | 279000,00      | 277500,00      |
| Valor presente da produção [kWh]  | 170466,7575    | 159980,1036    | 150134,4447    | 140890,8146    | 132212,6043    | 124065,4205    | 116416,9519    | 109236,8437    |
| Soma da produção descontada [kWh] | 2003642,53     | 2163622,63     | 2313757,08     | 2454647,89     | 2586860,50     | 2710925,92     | 2827342,87     | 2936579,71     |
| Valor energia economizada         | R\$172.800,00  | R\$171.900,00  | R\$171.000,00  | R\$170.100,00  | R\$169.200,00  | R\$168.300,00  | R\$167.400,00  | R\$166.500,00  |
| Saldo                             | R\$ 168.230,00 | R\$ 167.330,00 | R\$ 166.430,00 | R\$ 165.530,00 | R\$ 164.630,00 | R\$ 163.730,00 | R\$ 162.830,00 | R\$ 161.930,00 |
| Valor presente                    | R\$ 99.575,08  | R\$ 93.436,20  | R\$ 87.673,25  | R\$ 82.263,34  | R\$ 77.184,97  | R\$ 72.417,94  | R\$ 67.943,27  | R\$ 63.743,14  |
| Soma do valor presente            | R\$ 257.101,78 | R\$ 350.537,98 | R\$ 438.211,23 | R\$ 520.474,57 | R\$ 597.659,54 | R\$ 670.077,47 | R\$ 738.020,74 | R\$ 801.763,89 |
| LCOE [R\$/kWh]                    | 0,128317192    | 0,162014381    | 0,189393793    | 0,212036346    | 0,231036632    | 0,247176608    | 0,2610298      | 0,273026434    |

Figura B.3 – Fluxo de caixa miniusina fotovoltaica parte 2.

| Fluxo de caixa                    | 17             | 18             | 19             | 20               | 21               | 22               | 23               | 24               | 25               |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ano                               |                |                |                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Investimento inicial              |                |                |                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Operação e manutenção             | -R\$ 4.570,00  | -R\$ 4.570,00  | -R\$ 4.570,00  | -R\$ 4.570,00    | -R\$ 4.570,00    | -R\$ 4.570,00    | -R\$ 4.570,00    | -R\$ 4.570,00    | -R\$ 4.570,00    |
| Produção anual deteriorada [kWh]  | 276000,00      | 274500,00      | 273000,00      | 271500,00        | 270000,00        | 268500,00        | 267000,00        | 265500,00        | 264000,00        |
| Valor presente da produção [kWh]  | 102496,5795    | 96169,37066    | 90230,05187    | 84654,98335      | 79421,95874      | 74510,11852      | 69899,86875      | 65572,80458      | 61511,63845      |
| Soma da produção descontada [kWh] | 3039076,29     | 3135245,66     | 3225475,72     | 3310130,70       | 3389552,66       | 3464062,78       | 3533962,64       | 3599535,45       | 3661047,09       |
| Valor energia economizada         | R\$165.600,00  | R\$164.700,00  | R\$163.800,00  | R\$162.900,00    | R\$162.000,00    | R\$161.100,00    | R\$160.200,00    | R\$159.300,00    | R\$158.400,00    |
| Saldo                             | R\$ 161.030,00 | R\$ 160.130,00 | R\$ 159.230,00 | R\$ 158.330,00   | R\$ 157.430,00   | R\$ 156.530,00   | R\$ 155.630,00   | R\$ 154.730,00   | R\$ 153.830,00   |
| Valor presente                    | R\$ 59.800,81  | R\$ 56.100,55  | R\$ 52.627,59  | R\$ 49.368,04    | R\$ 46.308,89    | R\$ 43.437,87    | R\$ 40.743,51    | R\$ 38.214,99    | R\$ 35.842,18    |
| Soma do valor presente            | R\$ 861.564,70 | R\$ 917.665,25 | R\$ 970.292,84 | R\$ 1.019.660,88 | R\$ 1.065.969,76 | R\$ 1.109.407,64 | R\$ 1.150.151,14 | R\$ 1.188.366,14 | R\$ 1.224.208,31 |
| LCOE [R\$/kWh]                    | 0,283495581    | 0,292693252    | 0,300821622    | 0,308042483      | 0,314486858      | 0,32026199       | 0,325466509      | 0,330144307      | 0,334387481      |

Figura B.4 – Fluxo de caixa miniusina fotovoltaica parte 3.

| Dados                |               |          | Equipamento |                |                  |               |
|----------------------|---------------|----------|-------------|----------------|------------------|---------------|
|                      | Valores       | Unidades | qtd         | Custo Unitário | Vida útil [anos] | Total         |
| Inputs               |               |          |             |                |                  |               |
| Tarifa da energia    | 0,60          | R\$/kWh  | 866         | R\$ 63,90      | 2,85             | R\$ 55.337,40 |
| Taxa de desconto     | 0,06          | % a.a    | 152         | R\$ 26,60      | 2,85             | R\$ 4.043,20  |
| Investimento inicial | R\$ 59.380,60 |          |             |                |                  |               |
| Economia Anual       | 48024         | kWh      |             |                |                  | R\$ 59.380,60 |

| Indicadores Financeiros |               |
|-------------------------|---------------|
| VPL                     | R\$ 17.640,64 |
| TIR                     | 15%           |
| Payback Descontado      | 2,27          |
| ROI                     | 29,71%        |

| Fluxo de caixa            |                |                |               |               |  |
|---------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--|
| Ano                       | 0              | 1              | 2             | 3             |  |
| Investimento inicial      | -R\$ 59.380,60 | 0              | 0             | 0             |  |
| Operação e manutenção     |                | R\$ -          | R\$ -         | R\$ -         |  |
| Valor energia economizada |                | R\$28.814,40   | R\$28.814,40  | R\$28.814,40  |  |
| Saldo                     | -R\$ 59.380,60 | R\$ 28.814,40  | R\$ 28.814,40 | R\$ 28.814,40 |  |
| Valor presente            | -R\$ 59.380,60 | R\$ 27.183,40  | R\$ 25.644,71 | R\$ 24.193,13 |  |
| Soma do valor presente    | -R\$ 59.380,60 | -R\$ 32.197,20 | -R\$ 6.552,49 | R\$ 17.640,64 |  |

Figura B.5 – Fluxo de caixa iluminação interna.

| Dados                |               |          | Equipamento |                |                  |               |
|----------------------|---------------|----------|-------------|----------------|------------------|---------------|
|                      | Valores       | Unidades | qtd         | Custo Unitário | Vida útil [anos] | Total         |
| Inputs               |               |          |             |                |                  |               |
| Tarifa da energia    | 0,60          | R\$/kWh  | 71          | R\$ 1.000,00   | 11,64            | R\$ 71.000,00 |
| Taxa de desconto     | 0,06          | % a.a    |             |                |                  |               |
| Investimento inicial | R\$ 71.000,00 |          |             |                |                  |               |
| Economia Anual       | 52140         | kWh      |             |                |                  | R\$ 71.000,00 |

| Indicadores Financeiros |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | R\$ 191.306,52 |
| TIR                     | 35%            |
| Payback Descontado      | 2,5            |
| ROI                     | 269,45%        |

Figura B.6 – Dados e indicadores financeiros análise financeira iluminação externa.

| Fluxo de caixa            |                |                |                |               |               |               |               |  |  |  |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|--|--|
| Ano                       | 0              | 1              | 2              | 3             | 4             | 5             | 6             |  |  |  |
| Investimento inicial      | -R\$ 71.000,00 | 0              | 0              | 0             | 0             | 0             | 0             |  |  |  |
| Operação e manutenção     |                | R\$ -          | R\$ -          | R\$ -         | R\$ 1,00      | R\$ 2,00      | R\$ 3,00      |  |  |  |
| Valor energia economizada |                | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   | R\$31.284,00  | R\$31.284,00  | R\$31.284,00  | R\$31.284,00  |  |  |  |
| Saldo                     | -R\$ 71.000,00 | R\$ 31.284,00  | R\$ 31.284,00  | R\$ 31.284,00 | R\$ 31.285,00 | R\$ 31.286,00 | R\$ 31.287,00 |  |  |  |
| Valor presente            | -R\$ 71.000,00 | R\$ 29.513,21  | R\$ 27.842,65  | R\$ 26.266,65 | R\$ 24.780,65 | R\$ 23.378,72 | R\$ 22.056,10 |  |  |  |
| Soma do valor presente    | -R\$ 71.000,00 | -R\$ 41.486,79 | -R\$ 13.644,14 | R\$ 12.622,51 | R\$ 37.403,16 | R\$ 60.781,88 | R\$ 82.837,98 |  |  |  |

Figura B.7 – Fluxo de caixa iluminação externa parte 1.

| Fluxo de caixa            |                |                |                |                |                |                |  |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Ano                       | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             |  |
| Investimento inicial      |                |                |                |                |                |                |  |
| Operação e manutenção     | R\$ 4,00       | R\$ 5,00       | R\$ 6,00       | R\$ 7,00       | R\$ 8,00       | R\$ 9,00       |  |
| Valor energia economizada | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   | R\$31.284,00   |  |
| Saldo                     | R\$ 31.288,00  | R\$ 31.289,00  | R\$ 31.290,00  | R\$ 31.291,00  | R\$ 31.292,00  | R\$ 31.293,00  |  |
| Valor presente            | R\$ 20.808,31  | R\$ 19.631,11  | R\$ 18.520,50  | R\$ 17.472,73  | R\$ 16.484,24  | R\$ 15.551,66  |  |
| Soma do valor presente    | R\$ 103.646,28 | R\$ 123.277,39 | R\$ 141.797,89 | R\$ 159.270,62 | R\$ 175.754,86 | R\$ 191.306,52 |  |

Figura B.8 – Fluxo de caixa iluminação externa parte 2.