

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA - ENERGIA**

**Matheus de Oliveira Muniz**

**Gestão de energia:**

Um olhar em retrospecto sobre a tomada de decisão da parada de um gerador a vapor

Juiz de Fora

2024

**Matheus de Oliveira Muniz**

**Gestão de energia:**

Um olhar em retrospecto sobre a tomada de decisão da parada de um gerador a vapor

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica Habilitação em Energia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Flávio Vanderson Gomes

Juiz de Fora

2024



**Matheus de Oliveira Muniz**

**Gestão de energia:**

Um olhar em retrospecto sobre a tomada de decisão da parada de um gerador a vapor

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica Habilitação em Energia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de setembro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Dr. Flávio Vanderson Gomes - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Dr. Leonardo Willer de Oliveira  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço acima de tudo aos meus pais Aurélio e Flávia pela paciência e por depositarem em mim, em confiança, seus preciosos recursos acumulados em uma vida árdua. Obrigado por me darem as condições e a tranquilidade para que eu pudesse embarcar nesta jornada da graduação em engenharia.

Agradeço também aos meus companheiros de turma e de caminhada Ricardo Graça, Tobias Barata, Matheus Carvalho, Diogo Barros, Daniel Magalhães, Vitor Pontes, Eduardo Mateus, entre tantos outros que neste formidável desafio compartilharam comigo não só as dores e as dificuldades do caminho, mas também nossas conquistas.

Agradeço ainda ao Ramo Estudantil IEEE da UFJF por me aceitar como um dos seus e mostrar o lado prático e social da engenharia.

Agradeço à minha esposa, Luana Rodrigues, por compartilhar comigo o sonho, mesmo antes da universidade, de nos tornarmos engenheiros e por acolher durante todos estes anos minhas queixas e angústias e por comemorar cada uma de minhas vitórias. Obrigado por sempre estar comigo e por mim.

Por fim, agradeço ao professor Flávio Vanderson Gomes pelo apoio e orientação nesta etapa final de conclusão do curso.

## **RESUMO**

Em fevereiro de 2022, a queda do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo para o seu piso aliada à perspectiva de aumento dos preços da biomassa de eucalipto colocou em discussão a viabilidade econômica da operação de um gerador a vapor na unidade fabril de uma planta produtora de papel reciclado. Tal contexto levou a uma rápida tomada decisão quanto a parada da operação de cogeração. Em uma releitura do cenário empresarial e do mercado à época, propõe-se um estudo de viabilidade econômica da operação de autoprodução de energia elétrica a partir do levantamento das variáveis de preços, tarifas e contratos de energia, preço da biomassa utilizada como insumo da cogeração bem como de indicadores como o fator de carga e demanda, a se observar os ganhos e perdas da operação com as possíveis oportunidades de redução de contratos de demanda com a concessionária de energia e redução das faturas da Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE).

Palavras-chave: Viabilidade econômica. Mercado de energia. Contrato de demanda. Fator de carga.

## **ABSTRACT**

In February 2022, the drop in electricity prices in the short-term market to their floor level, coupled with the prospect of rising eucalyptus biomass prices, brought into question the economic viability of operating a steam generator at a recycled paper production plant. This context led to a swift decision to discontinue the cogeneration operation. In a reexamination of the business and market scenario at that time, an economic feasibility study of the self-production of electricity is proposed, taking into account variables such as energy prices, tariffs, and contracts, the price of biomass used as cogeneration input, as well as indicators like load factor and demand. The goal is to evaluate the gains and losses of the operation, considering possible opportunities for reducing demand contracts with the energy utility and lowering TUSD (Distribution System Usage Tariff) and TE (Energy Tariff) bills.

**Keywords:** Economic feasibility. Energy market. Demand contract. Load factor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Cartaz de incentivo ao plantio de eucalipto e pinus nos anos 60.....                | 13 |
| Figura 2 - Gráfico ponto de equilíbrio entre custos e receita .....                            | 23 |
| Figura 3 - Curva de oferta e demanda .....   | 26 |
| Figura 4 - Subsistemas do SIN.....   | 28 |
| Figura 5 - Tabela de valores mínimos e máximos do PLD .....                                    | 29 |
| Figura 6 - Visão lateral dos principais processos executados em uma máquina de papel .....     | 32 |
| Figura 7 - Componentes da TUSD .....   | 42 |
| Figura 8 - Faturamento TUSD outubro de 2021 .....  | 45 |
| Figura 9 – Gráfico do PLD mensal para o submercado Sudeste/Centro-oeste.....                   | 47 |
| Figura 10 – Gráfico da potência média fornecida pelo gerador.....                              | 49 |
| Figura 11 – Gráfico do histórico do custo unitário do cavaco .....                             | 51 |
| Figura 12 – Gráficos de potência ativa máxima do mês de maio de 2021 por posto horário .....   | 53 |
| Figura 13 – Gráficos de fator de carga de maio de 2021 por posto horário .....                 | 54 |
| Figura 14 – Gráfico de demanda máxima versus contrato para o posto horário ponta .....         | 55 |
| Figura 15 – Gráfico de demanda máxima versus contrato para o posto horário fora de ponta ..... | 55 |
| Figura 16 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 1) .              | 60 |
| Figura 17 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 2) .              | 60 |
| Figura 18 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 3) .              | 61 |
| Figura 19 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 1).....                                  | 62 |
| Figura 20 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 2).....                                  | 62 |
| Figura 21 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 3).....                                  | 63 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Base de dados estática .....   | 37 |
| Tabela 2 - Planilha de consumo diário .....   | 38 |
| Tabela 3 - Cálculos de demandas máximas e fator de carga a partir da base diária                  | 39 |
| Tabela 4 - Base resumo de demandas máximas e médias por posto horário .....                       | 40 |
| Tabela 5 - Tabela exemplo faturamento de demanda (valores em kW) .....                            | 44 |
| Tabela 6 - Tarifas das componentes de encargo (R\$/kWh) e fio (R\$/kW) por posto<br>horário ..... | 46 |
| Tabela 7 - Premissas da caldeira Dedini .....   | 50 |
| Tabela 8 – Premissas de consumo de vapor da fábrica .....   | 51 |
| Tabela 9 – Fatores de carga médios por posto horário no período .....                             | 54 |
| Tabela 10 – Premissas de preços e tarifas para o cálculo de viabilidade .....                     | 56 |
| Tabela 11 – Cálculo da economia na TUSD com a operação do gerador .....                           | 57 |
| Tabela 12 – Cálculo da economia na Tarifa de Energia com a operação do Gerador<br>.....           | 58 |
| Tabela 13 – Premissas de custeio e produção de vapor .....  | 59 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                            | <b>11</b> |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS                       | 11        |
| 1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA                   | 11        |
| 1.3 OBJETIVOS                                  | 15        |
| <b>1.3.1 Objetivo Geral</b>                    | <b>15</b> |
| <b>1.3.2 Objetivos específicos</b>             | <b>15</b> |
| 1.4 METODOLOGIA                                | 16        |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO                      | 16        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                 | <b>18</b> |
| 2.1 CUSTO                                      | 18        |
| 2.2. ECONOMIA E MERCADO                        | 20        |
| <b>2.2.1 Economia</b>                          | <b>20</b> |
| <b>2.2.2 Viabilidade Econômica</b>             | <b>21</b> |
| 2.2.2.1 <i>Custo de Oportunidade</i>           | 21        |
| 2.2.2.2 <i>Ponto de Equilíbrio</i>             | 22        |
| <b>2.2.3 Mercado</b>                           | <b>23</b> |
| 2.3 MERCADO DE ENERGIA                         | 26        |
| <b>3 DESENVOLVIMENTO</b>                       | <b>30</b> |
| 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO ESPECÍFICA                | 30        |
| <b>3.1.1 Processo produtivo do papel</b>       | <b>30</b> |
| <b>3.1.2 A empresa</b>                         | <b>32</b> |
| <b>3.1.3 Contração de Energia</b>              | <b>33</b> |
| 3.2 PREMISSAS GERAIS E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO | 35        |
| 3.3 ABORDAGEM DO PROBLEMA                      | 36        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.3.1 Obtenção e tratativa dos dados de massa.....</b>                      | <b>36</b> |
| <b>3.3.2 Faturamento da energia elétrica .....</b>                             | <b>41</b> |
| 3.3.2.1 <i>Tarifação do contrato de demanda e componente de encargos .....</i> | <i>41</i> |
| 3.3.2.2 <i>Tarifa de energia e preços do mercado de curto prazo.....</i>       | <i>46</i> |
| <b>3.3.3 Capacidade e premissas de custeio da Cogeração .....</b>              | <b>47</b> |
| <b>4 ANÁLISES E RESULTADOS .....</b>   | <b>53</b> |
| 4.1 ANÁLISES DE FATOR DE CARGA .....   | 53        |
| 4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DA OPERAÇÃO DO GERADOR A VAPOR.....                  | 56        |
| 4.3 ANÁLISE DO PONTO DE EQUILÍBRIO DA COGERAÇÃO.....                           | 61        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>6 TRABALHOS FUTUROS.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>APÊNDICE A – DASHBOARD DE GESTÃO DE ENERGIA.....</b>                        | <b>68</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Eventos econômicos abruptos como a pandemia da COVID-19 redefinem as prioridades humanas e promovem o deslocamento das curvas de oferta e demanda de produtos e serviços. Estes movimentos, por sua vez, encerram e criam oportunidades de mercado.

Com a crise sanitária provocada pela covid, itens básicos de saúde e higiene como álcool em gel, máscaras descartáveis, entre outros, foram valorizados devido ao aumento da demanda. Este efeito também teve seus reflexos na indústria de papel e papelão, período no qual os preços dos produtos atingiram patamares históricos.

Se por um lado a pandemia acelerou o processo de digitalização e convivência remota reduzindo o volume de papéis impressos como jornais e revistas, por outro, fortaleceu o segmento de papel *tissue*, papel para embalagens e celulose (REDAÇÃO CANAL RURAL, 2004). Nestes setores, o período também foi marcado por grandes investimentos no aumento de produção e pesquisas (MARTIN, 2022).

No entanto, após os pesados investimentos e o arrefecimento dos efeitos da covid no período pós-pandemia, o setor de papel enfrenta o aumento de oferta dos seus produtos e de queda de preços. Além disso, os aumentos nos preços de muitos dos insumos produtivos de forma generalizada não conseguiram ser revertidos aos patamares pré-pandemia, provocando um esmagamento das margens dos produtos e desenhando um cenário desafiador para empresas de pequeno e médio porte.

Neste contexto competitivo dominado por empresas de grande porte, possuir vantagens operacionais e eficiência de custos mostra-se um grande diferencial na perpetuidade e no aumento da competitividade das empresas do setor, onde destacam-se iniciativas relativas à eficiência energética.

### 1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Datam do reinado de D. Pedro II as primeiras fábricas de papel que realmente prosperaram em território nacional. Neste estágio embrionário, as empresas obtinham

a celulose, matéria prima para produção do papel, a partir de “trapos” que nada mais eram do que tecido pós-consumo. Essa fonte de matéria-prima, no entanto, não se mostrou suficiente para uma produção em larga escala e por isso os empresários apostaram na madeira como fonte primária para extração da celulose. Na época, maior parte da celulose utilizada no Brasil era obtida através da importação principalmente dos Estados Unidos e da Europa. Esta particularidade fazia os preços oscilarem conforme o mercado internacional e políticas de câmbio o que dificultava o crescimento do mercado. Pela dificuldade de aquisição não só da matéria-prima, mas também de maquinário, a indústria de celulose e papel se concentrou nas grandes empresas familiares, como por exemplo a Klabin, que dispunham de acesso ao crédito para financiamento de suas operações (CAMPANARO, 2004).

O problema da obtenção da matéria prima se agravou durante o governo de Getúlio Vargas (1930-1945 e 1951-1954). Na era Vargas, a política “nacional-desenvolvimentista” foi marcada pelo protecionismo da indústria nacional e pela menor dependência das importações, o que apesar de proporcionar o fortalecimento da indústria de base acabou provocando a escassez de insumos em território nacional (BASTOS, 2006).

Já no governo de Juscelino Kubitschek a expansão da indústria papeleira encontrou desafios para escolha de espécies vegetais nativas a serem utilizadas para obtenção da celulose. Posteriormente, o problema ambiental do desmatamento das florestas nacionais culminou no desenvolvimento de políticas de reflorestamento e manejo florestal e na utilização do eucalipto como fonte principal da fibra curta de celulose (CAMPANARO, 2004).

Figura 1 - Cartaz de incentivo ao plantio de eucalipto e pinus nos anos 60



Fonte: CAMPANARO (2004).

Desde então, o plantio do eucalipto ganhou protagonismo no Brasil. Segundo o relatório anual de 2022 da IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores) a produtividade do eucalipto atingiu 38,9m<sup>3</sup> por hectare por ano em 2021, maior resultado desde 2014. O eucalipto é destaque não apenas como matéria-prima para produção da celulose, mas também tem importante parcela na utilização como biomassa. Ainda segundo o relatório, cerca de 88% da energia renovável utilizada atualmente na indústria do país é proveniente da biomassa e licor negro extraídos de madeira de reflorestamento.

No que tange ao emprego da biomassa para produção de energia térmica, principalmente no cenário energético industrial, a utilização do cavaco de eucalipto tem ganhado destaque em relação à utilização de combustíveis fósseis (RIBEIRO, 2018).

A Paraibuna Embalagens é uma empresa familiar inserida no mercado de celulose e papel sobre a qual foi proposto o estudo presente neste trabalho. A companhia é produtora de papel e papelão para embalagens e disputa o concorrido e

concentrado mercado com grandes empresas do setor tais como Klabin, Irani e Suzano.

Apesar de fazer pouco uso da celulose nos seus processos pelo fato de utilizar majoritariamente papel e papelão pós consumo (aparas) como fonte de matéria prima, a empresa utiliza o eucalipto de reflorestamento na forma de cavaco como combustível da caldeira responsável pelo fornecimento do vapor utilizado no processo de secagem do papel.

O cavaco de eucalipto é o produto do processo de picagem do eucalipto e pode possuir diferentes granulometrias, propriedade que indica a dimensão dos fragmentos de madeira em uma amostra. Além da biomassa de eucalipto, a empresa possui uma rede de gás natural ligada às suas caldeiras a gás. Desta forma, como principais componentes de sua matriz energética a empresa emprega a energia elétrica, a biomassa o gás natural além de combustíveis derivados de petróleo em sua cadeia logística.

Nessas suas duas formas de uso o eucalipto se insere no processo produtivo do papel que pode ser resumido a algumas etapas. Na primeira delas ocorre a preparação de massa de fibras vegetais onde elas são desagregadas, refinadas e depuradas até finalmente serem destinadas à máquina de papel por meio de um conjunto de equipamentos chamados de caixa de entrada. A partir daí, a mistura de massa, água e químicos corre sobre telas que permitem o escoamento da água, mas não o da massa. A mistura é então prensada e seca até finalmente gerar o papel que é enrolado no final da máquina. Durante este processo, a mistura que tem inicialmente entre 85 a 90% de água, perde umidade até algo em torno de 3 a 8%. Na secagem do papel, o elemento responsável por transferir o calor para a massa de papel nas máquinas é o vapor de água (PIOTTO, 2003).

Por possuir certa pluralidade de fontes energéticas em sua matriz a companhia faz a gestão destes recursos de modo a se tornar mais competitiva no mercado ao otimizar estes recursos reduzindo, assim, o custo de produção. Além disso, em sua planta produtora de papel a empresa possui um gerador de energia movido a vapor que reaproveita a energia térmica da caldeira para geração de energia elétrica.

Uma vez que a utilização de vapor é inerente ao processo de produção de papel reciclado é comum encontrar sistemas de cogeração nas indústrias de papel e celulose, já que a eficiência energética obtida com esta operação pode ser um diferencial na composição do custo do produto. Os mercados de energia elétrica, gás natural e cavaco de eucalipto, no entanto, oscilam de acordo com as sazonalidades, safras, oferta e demanda, entre outros fatores. Em 2022 a queda abrupta do preço de liquidação das diferenças (PLD) para o seu piso colocou em voga a decisão empresarial sobre a viabilidade da operação do sistema de cogeração de energia elétrica utilizando a biomassa e o gás natural.

Logo, visando manter a rentabilidade e a competitividade no mercado, questionou-se qual deveria ser o valor mínimo da energia cogerada que tornaria viável a operação do sistema de cogeração na planta de papel reciclado ao se estimar as perdas na linha de vapor ao desviar parte de seu fluxo para o gerador. Indo mais a fundo, questiona-se qual é o ponto de equilíbrio entre o custo do combustível e o valor economizado com a cogeração?

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta em *Excel* para auxiliar a tomada de decisão gerencial quanto à viabilidade econômica da operação de um sistema de cogeração de energia na planta de produção de papel da INDÚSTRIA DE PAPÉIS SUDESTE LTDA (Paraibuna Embalagens).

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o fator de carga histórico para identificação de oportunidades de redução custo com a TUSD;
- b) Apresentar uma análise da viabilidade econômica da cogeração frente ao custo dos combustíveis utilizados na produção do vapor.



## 1.4 METODOLOGIA

As pesquisas científicas podem ser classificadas quanto aos seus objetivos gerais e quanto aos procedimentos técnicos utilizados. Na primeira classificação as pesquisas podem ser divididas em exploratórias, descritivas ou explicativas. Já quanto aos procedimentos, a abordagem pode ser classificada como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa *ex-post facto*, estudo de coorte, estudo de caso, levantamento, estudo de campo, pesquisa-ação ou pesquisa-participante (GIL, 2002). Como o presente trabalho se debruça sobre o contexto no qual foi tomada a decisão da interrupção da operação de um gerador a vapor na planta de produção de papel reciclado da Indústria de Papeis Sudeste LTDA, ele se enquadra, quanto ao seu objetivo, como uma pesquisa exploratória uma vez que estas são aquelas cujo objetivo é o de detalhar o contexto e apresentar hipóteses ou novas visões sobre o problema (GIL 2002).

Dado que a particularidade do objetivo apresentado é a criação de hipóteses e ferramentas como base no resultado de ações que ocorreram no passado, classifica-se este trabalho, quanto ao seu método, como uma pesquisa *ex-post facto* já que a partir de um fato passado busca-se entender a relação entre as variáveis envolvidas de modo a desenvolver-se uma ferramenta de auxílio a tomada de decisões futuras (GIL, 2002).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 5 capítulos iniciando-se pela introdução, seção na qual é apresentado o problema abordado bem como o contexto geral sobre os quais são traçados os objetivos do estudo. Em seguida, no capítulo 2, são elencadas as bases teóricas necessárias para o desenvolvimento e compreensão da abordagem adotada. O capítulo 3, por sua vez, apresenta as restrições e delimitações do trabalho e, em seguida, apresenta o desenvolvimento dos objetivos gerais e específicos mostrando como os dados foram obtidos e tratados e trazendo informações relevantes sobre o processo produtivo do papel bem como as premissas envolvidas. Já no capítulo 4 são apresentados os resultados dos cálculos e as análises realizadas sobre as informações e premissas trabalhadas no capítulo anterior através

da projeção de alguns cenários. Por fim, o capítulo 5 traz as considerações finais e as conclusões a partir dos resultados apresentados no capítulo 4, fechando o trabalho como algumas sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CUSTO

Para conceituar custo, é necessário, primeiramente, diferenciar outras expressões que, à primeira vista, podem parecer sinônimas. Sempre que uma empresa emprega recursos financeiros para a aquisição de um bem ou serviço, diz-se que foi efetuado um gasto. Esta é uma nomenclatura ampla que se caracteriza quando ocorre a efetiva entrega do produto ou serviço ou, ainda, quando há o reconhecimento contábil da promessa de entrega do produto ou serviço (MARTINS & ROCHA, 2003).

Apesar de uma compra implicar em um desembolso financeiro, o ato de realizá-la não está diretamente vinculado ao fato de o recurso financeiro ter ou não sido transferido a uma terceira parte. Isto, por sua vez, é o que caracteriza o desembolso, que pode acontecer antes, durante ou após a entrega do bem ou serviço adquirido (RIBEIRO, 1996).

No conceito de gasto estão também incluídos os investimentos, que são aqueles realizados para a obtenção de bens a serem empregados nas operações da empresa, como bombas, motores, computadores, etc., incluindo o grupo de insumos produtivos, tais como a matéria-prima e os produtos químicos, enquanto estes insumos não tenham sido consumidos ou transformados no processo de produção. Os investimentos também podem assumir outras formas, como ações de outras empresas, títulos bancários e aplicações financeiras (RIBEIRO, 1996).

Esta última conceituação aponta um importante ponto quando da classificação dos gastos: o emprego do recurso. Isso é ainda mais relevante quando o objetivo é classificar um gasto como custo ou despesa.

Por despesa entende-se o gasto com bens e serviços a ser aplicado às áreas administrativas quando se objetiva, direta ou indiretamente, a obtenção de receitas (RIBEIRO, 1996).

Custo, por sua vez, é todo gasto efetuado com objetivo de se obter um bem ou serviço diretamente empregado na produção de outro produto ou serviço (MARTINS; ROCHA, 2003).

Segundo Ribeiro (1996) os custos e despesas se confundem na prática apesar de possuírem uma clara diferenciação em sua enunciação conceitual. Uma maneira mais simples, segundo o autor, de distinguir custos e de despesas seria a observação do processo industrial. Ao conseguir distinguir onde começa e termina a produção, tudo o que vier antes e depois do processo produtivo será classificado como despesa e durante o processo será entendido como custo (RIBEIRO, 1996).

Custos e despesas podem ser ainda subdivididos em diretos e indiretos onde os custos e as despesas diretas são aqueles gastos que podem ser atribuídos diretamente a cada unidade do produto vendido como por exemplo uma comissão sobre a venda, isto é, uma despesa calculada como um percentual da receita. Neste caso, é possível saber quanto a comissão custou por unidade. Já no caso de um aluguel de galpão industrial, por exemplo, no qual além da linha de produção se encontra o escritório administrativo da empresa, fica difícil determinar o quanto do valor do aluguel irá compor custo do produto. Geralmente, neste último caso é estabelecido um critério de rateio para determinar qual parte do aluguel é custo e qual parte é referente à despesa. Por isso, gastos como aluguel, vigilância patrimonial, logística interna etc. são considerados indiretos (BERTÓ; BEULKE, 2017).

Em relação ao nível de operação, isto é, ao volume de produção, os custos podem, ainda, ser classificados como fixos ou variáveis. No caso dos custos fixos, temos os gastos diretamente empregados nos processos de produção, porém que possuem a característica de ser invariáveis em relação ao volume produzido. O aluguel de um galpão industrial é um bom exemplo de custo fixo uma vez que produzindo ou não, a empresa, como locatária, deverá cumprir com o contrato de aluguel firmado com o locador. Por outro lado, o custo variável é proporcional ao nível de atividade empresarial. Dessa forma, quanto maior a produção, maior o custo e vice-versa (RIBEIRO, 1996).

## 2.2. ECONOMIA E MERCADO

### 2.2.1 Economia

A palavra “economia” tem sua origem do grego e possui o significado, em sua raiz, de “aquele que administra o lar”. Nota-se, então, que desde a concepção da ideia é intrínseca a relação entre o modo de vida das pessoas que compõe a sociedade e os recursos, produtos e serviços gerados por ela. Assim como em uma casa as tarefas e responsabilidades mais complexas são atribuídas aos adultos e as mais simples aos mais jovens, a sociedade prioriza, atribui responsabilidades e aloca recursos em atividades, produtos e pessoas em seus próprios critérios (MANKIW, 2001).

A decisão sobre quem irá desempenhar certa atividade ou quem consumirá determinado produto, por sua vez, está ligada ao conceito de escassez que evidencia a natureza limitada dos recursos. Desta forma, não se é possível produzir ou disponibilizar um determinado bem ou serviço tanto quanto as pessoas queiram. Cabe então à sociedade decidir quem poderá usufruir dos melhores recursos e quem ficará com os piores. A partir daí torna-se impossível desvincular da ideia de economia o comportamento das pessoas, sua maneira de se relacionarem e de tomarem decisões sobre seus recursos escassos (MANKIW, 2001).

O conceito de economia é então entendido como sendo o resultado de um conjunto de decisões sociais sobre a alocação dos recursos sejam eles terras, pessoas, produtos, imóveis, etc. Em outras palavras, economia é a forma com que a sociedade organiza e administra seus recursos (MANKIW, 2001).

No que tange à tomada de decisão, as pessoas, empresas e a sociedade num geral realizam a todo instante os chamados *tradeoffs*, a escolha de algo em detrimento de uma outra coisa. Uma empresa, por exemplo, que opte por investir na melhoria da qualidade do efluente industrial de uma de suas plantas, destinará importante recurso para esta finalidade, implicando no aumento de custos operacionais, redução de lucro, aumento de preços e consequente perda de competitividade. Muito embora o investimento na melhoria dos indicadores ambientais traga consigo uma série de efeitos positivos como a melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida das pessoas além do fortalecimento de sua marca, aquele recurso não mais poderá ser

usado para compra de um insumo produtivo ou para investimento na melhoria da qualidade do produto. Decorre daí o importante conceito de eficiência como sendo a medida da melhor utilização dos recursos para maximização do retorno (MANKIW, 2001).

### **2.2.2 Viabilidade Econômica**

No início, os sistemas de apuração contábil tinham por objetivo a apuração dos gastos e receitas de uma empresa para cumprimento de obrigações fiscais ao indicar se a companhia havia apresentado lucro ou prejuízo no exercício. Com o aumento da competitividade e da concorrência entre as empresas, a contabilidade de custos passou a ser utilizada também para o atendimento de demandas gerenciais como ferramenta de auxílio à tomada de decisão (GOMES, 2000).

A análise dos custos para tomada de decisão pode ser empregada para: dar suporte ao sistema contábil no que tange às apurações fiscais; como ferramenta para estabelecer o preço de venda do produto bem como apontar qual produto possui maior rentabilidade; para detecção de ineficiência de custos nos processos operacionais e administrativos; entre outras funções (GOMES, 2000).

Em relação à análise de implantação de um projeto ou ainda quando se avaliam opções de emprego dos recursos empresariais, a análise de custos deve indicar o tamanho do benefício frente ao seu custo de implantação (GOMES, 2000).

Neste ensejo, o presente trabalho entende por análise de viabilidade econômica como sendo o comparativo entre o benefício econômico e os custos de determinada opção ao se valer de ferramentas tais quais as definidas a seguir.

#### **2.2.2.1 Custo de Oportunidade**

No contexto empresarial é esperado que as escolhas sejam feitas de tal maneira que as companhias obtenham o máximo de retorno a partir delas. Portanto, a tomada da melhor decisão exige a análise de custo-benefício entre as opções disponíveis. Introduz-se, aqui, o conceito de custo de oportunidade definido por

Mankiw (2001) da seguinte forma: “O custo de oportunidade de um item é aquilo que você abre mão para obtê-lo”.

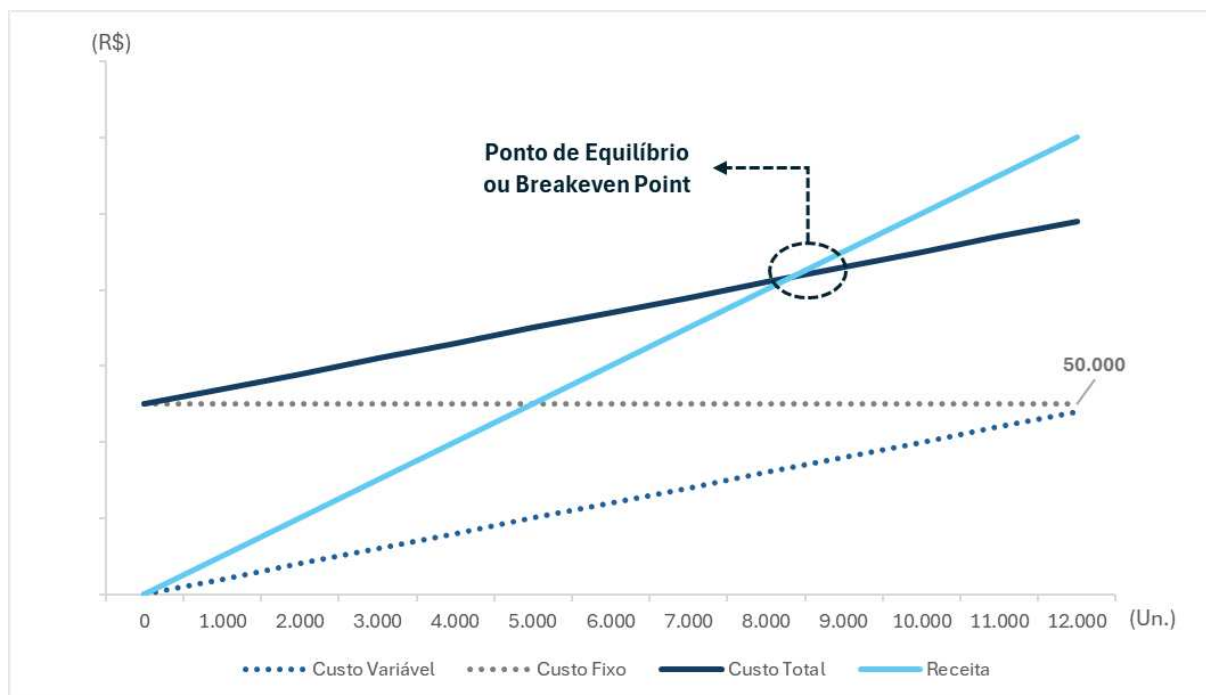
Ainda, de maneira mais direta, custo de oportunidade é o quanto deixa-se de ganhar com a aplicação de um recurso em sua melhor alternativa quando se escolhe uma outra opção (GOMES, 2000).

#### 2.2.2.2 Ponto de Equilíbrio

Indo um pouco além com a discussão sobre tomada de decisões que envolvem custos, uma das ferramentas comumente utilizadas é o ponto de equilíbrio. Ele permite analisar qual é o nível mínimo de atividade no qual uma empresa deve operar para cobrir os seus custos, isto é, o quanto deve ser produzido e vendido para que a receita da operação seja exatamente suficiente para cobrir os custos e as despesas (RAIMUNDINI *et al.*, 2008).

O traçar da curva de receita e gastos da atividade de uma empresa durante um exercício mensal, por exemplo, permite identificar o ponto de equilíbrio daquela operação no ponto de encontro entre as curvas conforme esboça a Figura 2 a seguir. Nela, simulou-se a operação de uma empresa produtora de garrafas de vidro. A empresa comercializa cada uma das garrafas por 10 reais sendo que o custo variável unitário de produção de cada unidade é de 4 reais. Além disso, foi considerado que a empresa possui um custo fixo de aluguel de galpão, mão de obra, gasto com manutenção de máquinas, etc. na casa dos 50 mil de reais por mês.

Figura 2 - Gráfico ponto de equilíbrio entre custos e receita



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Da figura 2, interpreta-se que para a empresa de garrafas apresentar resultados econômicos positivos é necessária uma produção/venda superior a 8.334 unidades, caso contrário a receita obtida pelas vendas não será suficiente para superar os custos, resultando em prejuízo.

Do ponto de vista econômico, isto é, da análise econômica do exercício de uma empresa, temos o conceito de ponto de equilíbrio econômico que além dos custos e despesas relacionadas ao funcionamento da empresa leva em consideração os custos de oportunidade do emprego do capital em outra atividade ou aplicação e permite calcular a rentabilidade real da atividade (RAIMUNDINI *et al.*, 2008).

### 2.2.3 Mercado

Por definição, entende-se mercado como sendo o conjunto de compradores e vendedores de um determinado produto. Neste grupo, os vendedores seriam aqueles indivíduos ou instituições responsáveis por ofertar os produtos a um determinado preço e os compradores seriam os responsáveis por definir a quantidade que desejam



adquirir bem como de quais dos vendedores estão dispostos a comprar (MANKIW, 2001).

Um mercado é considerado competitivo quando existam tantos compradores e vendedores que nenhuma das ações individuais deste ou daquele conseguem alterar os preços definidos no mercado (MANKIW, 2001).

Nota-se, então, que é praticamente impossível discutir sobre mercado sem abordar a relação de oferta e demanda. Ao analisar o comportamento do grupo dos compradores estamos, em outras palavras, analisando as relações de demanda por produtos ou serviços e, por outro lado, se observarmos o grupo dos vendedores, estamos, na verdade, analisando as relações de oferta (MANKIW, 2001).

Entre os fatores determinantes das condições de demanda por produtos estão os gostos pessoais dos indivíduos - uma vez que o fato de gostar ou não de um produto influencia diretamente a decisão do indivíduo quanto a adquiri-lo - o número de compradores, bem como as expectativas dos indivíduos - já que a compreensão das conjunturas de futuro podem ter impacto sobre a decisão do consumidor, por exemplo, de esperar por uma redução futura de preços - além, obviamente, do próprio preço do item (MANKIW, 2001).

Apesar dos muitos fatores em conjunto determinarem o nível de demanda de um produto em específico, o preço é o principal fator entre eles a influenciar o comportamento dos compradores sobre qual item desejam e sobre a quantidade que podem adquirir do item em questão. Essa relação entre o preço e quantidade demandada de um produto ou serviço é conhecida como lei da demanda e é enunciada por Mankiw (2001) como segue:

“Com tudo o mais mantido constante, quando o preço de um bem aumenta, a quantidade demandada deste diminui; quando o preço diminui a quantidade demandada do bem aumenta” (MANKIW, 2001, p. 56).

Do outro lado temos os vendedores, indivíduos ou entidades que definem a quantidade de um produto ou serviço a ser ofertada no mercado, contexto no qual o preço também representa papel fundamental. Quando o preço de um item é alto sua venda resulta em lucro e, cada vez mais, vendedores terão o interesse de ofertá-lo. Em contrapartida, quando o preço cai, os vendedores podem optar por não

disponibilizar tanta quantidade do produto no mercado uma vez que o custo de oportunidade do capital passa a ser elevado. A relação entre preço e quantidade ofertada é chamada de lei da oferta e é também enunciada por Mankiw (2001) conforme a seguir:

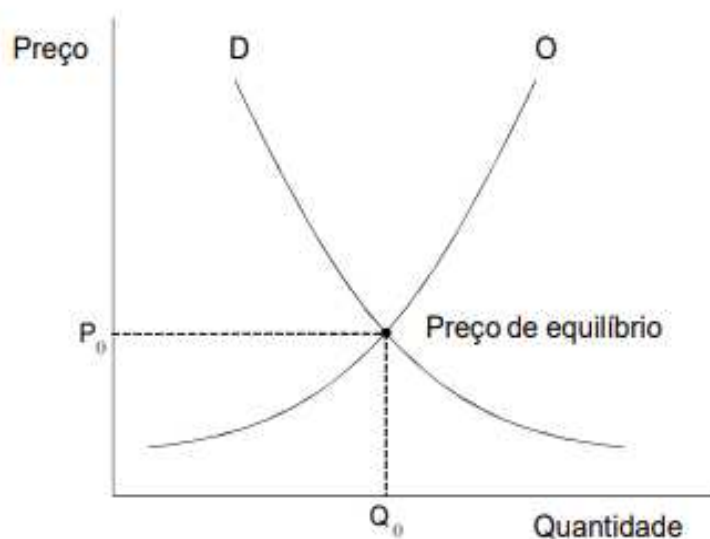
“Lei da oferta: com tudo o mais mantido constante, quando o preço de um bem aumenta, a quantidade ofertada desse bem também aumenta, e quando o preço de um bem cai, a quantidade ofertada desse bem também cai” (MANKIW, 2001, p. 60).

Pode-se perceber que preço e quantidade são as variáveis comuns entre as curvas da oferta e da demanda. Mesmo que se imagine um cenário de preços altos onde a oferta é grande, com o passar do tempo a tendência é de que a demanda caia, fazendo com que os preços caiam. Por outro lado, se o preço cair demasiadamente, os vendedores irão, gradativamente, reduzir a oferta fazendo com que os consumidores, para conseguirem o que querem, se submetam a preços mais elevados. Este movimento por sua vez, fará com que o preço geral dos itens no mercado suba. Essa retração e dilatação de preços continuará até que se estabeleça o equilíbrio entre oferta e demanda, ponto no qual o preço é tal que todos os vendedores vendam a quantidade que desejam pelo preço que querem e todos os consumidores comprem a quantidade que querem pelo preço que lhes seja conveniente (MANKIW, 2001).

A figura a seguir mostra em um gráfico a relação entre as curvas de oferta (O) e demanda (D) e destaca o preço de equilíbrio.

É notável, no entanto, que no mercado ocorrem, a todo instante, oscilações que deslocam as curvas de oferta e demanda para uma posição fora do preço de equilíbrio. A teoria econômica diz, porém, que por mais demorado que seja, a tendência é de que o mercado sempre retorne à posição de equilíbrio (SOUZA, 2014). A figura 3 ilustra a relação entre as curvas de oferta e demanda e destaca o ponto de equilíbrio entre elas.

Figura 3 - Curva de oferta e demanda



Fonte: Souza (2014).

## 2.3 MERCADO DE ENERGIA

A comercialização de energia elétrica no Brasil é regulamentada pela lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 que define as condições gerais, regras e procedimentos de contratação de energia no ambiente regulado e livre pelos agentes do mercado de energia elétrica.

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) instituída pelo decreto nº 5.177/2004 é o órgão governamental cuja função primordial é a de viabilizar a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Suas atribuições estão previstas na Resolução Normativa (REN) nº 957 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de 7 de dezembro de 2021 e incluem, mas não se limitam, à promoção de leilões de energia elétrica, manutenção dos registros dos contratos de comercialização de energia elétrica e à aplicação de penalidades sobre as infrações dos agentes do mercado de energia. Em outras palavras, a CCEE é o órgão responsável por operacionalizar o comércio de energia elétrica no Brasil.

A resolução normativa nº 957 de 2021 no seu artigo 2º define que por “agente” estão inclusos concessionárias, permissionários e autorizados de serviços ou instalações de energia elétrica, detentores do registro de empreendimento de geração

produtores além de consumidores livres e consumidores especiais desde que todos esses agentes sejam vinculados à CCEE.

Ainda segundo a REN nº 957, os contratos de energia podem ser firmados em três ambientes distintos sendo eles o ambiente de contratação regulado ou ACR, o ambiente de contratação livre ou ACL e o mercado de curto prazo ou MCP.

Para as negociações do ACR estão previstas a abertura de licitações mediante a realização de leilões de energia nos quais os agentes distribuidores ganham o direito de compra da energia dos agentes produtores. No ACL, a compra e venda da energia é celebrada por contratos bilaterais firmados livremente entre agentes geradores, comercializadores, consumidores livres, consumidores especiais<sup>1</sup>, exportadores e importadores. Já as operações no mercado de curto prazo, ou ainda, mercado *spot*, são aquelas contabilizadas pela CCEE cujas exposições dos agentes ficam submetidas à valoração pelo preço de liquidação das diferenças (PLD).

Como dito anteriormente, em um mercado competitivo, isto é, de concorrência perfeita, tem-se a tendência de acomodação de preços ao redor do ponto de equilíbrio de oferta e demanda onde compradores e vendedores estão satisfeitos com os preços e as quantidades negociadas. O mercado de energia, no entanto, se aproxima mais a um oligopólio, isto é, um mercado dominado por um pequeno grupo de produtores. Uma outra característica agravante são as barreiras à entrada de novos produtores no mercado (SOUZA, 2014).

Neste ensejo, para que se siga a direção da eficiência econômica, é imprescindível a intervenção regulatória na redução do poder de mercado dos agentes geradores, uma vez que, sem isto, os produtores de energia ditariam os preços com base nas suas ineficiências e suas estratégias frente aos seus poucos concorrentes (SOUZA, 2014).

O despacho centralizado por mérito do custo é uma alternativa tradicional a este problema. Assim, o Operador Nacional do Sistema (ONS) - que de maneira simplificada é o órgão quem dita quais produtores, quando e quanto irão gerar - procura atender à demanda do sistema acionando as usinas do menor para o maior custo unitário de geração (R\$/MWh). Deste modo, os geradores são incentivados a

aumentarem suas eficiências de geração, reduzindo seus custos de modo a tornarem-se prioridade na ordem de despacho (SOUZA, 2014).

Calculado via modelos de otimização pelo ONS, o custo marginal da operação (CMO) é, por definição, o custo incremental para se gerar um MWh a mais no SIN.

Um outro agravante para precificação da energia no mercado são as restrições da malha de transmissão. O sistema interligado nacional é subdividido em quatro subsistemas sendo eles Sudeste/Centro-oeste, Sul, Nordeste e Norte. Esta divisão nem tanto tem a ver com a divisão territorial dos estados brasileiros, estando correlacionada às barreiras físicas entre as interligações das redes de transmissão (MAGALHÃES, 2021). A figura 4 mostra a distribuição dos subsistemas no território brasileiro.

Figura 4 - Subsistemas do SIN



Fonte: Mercado Livre de Energia elétrica (s.d.).

Segundo a CCEE (s.d.), o fato do sistema elétrico brasileiro ser majoritariamente hidrotérmico, isto é, ter a maior parte de sua capacidade de geração concentrada em usinas hidrelétricas e termelétricas, faz com que a precificação da

energia do SIN tenha que levar em consideração o custo de oportunidade de manter água nos reservatórios, a salvando para geração futura, e os benefícios que esta reserva significará em termos de custo da geração termelétrica. Neste ensejo, o preço de liquidação das diferenças, PLD, é o resultado de um cálculo complexo que precifica toda energia gerada no sistema e que não foi consumida, levando em consideração suposições e prognósticos futuros tais como condições hidrológicas, projeções de afluições, expectativas de geração, demanda energética e até mesmo a projeção de entrada de novos empreendimentos energéticos. Além de todos estes fatores o PLD é gerado por submercado respeitando as restrições de escoamento de energia entre as regiões do SIN sendo o CMO a base para o seu cálculo.

Com a Resolução Normativa nº 858 de 2019 publicada pela ANEEL, o PLD passou a possuir limites máximo e mínimo conforme mostra a imagem a seguir sendo está uma outra diferença entre ele e o CMO. A figura 5, a seguir, apresenta os patamares máximos e mínimos do PLD por ano

Tabela 1 – Tabela de valores mínimos e máximos do PLD

|      | PLD mínimo<br>(R\$/MWh) | PLD máximo estrutural<br>(R\$/MWh) | PLD máximo horário*<br>(R\$/MWh) | Custo do Déficit<br>(R\$/MWh) |
|------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 2017 | 33,68                   | 533,82                             | -                                | 4.650,00                      |
| 2018 | 40,16                   | 505,18                             | -                                | 4.596,31                      |
| 2019 | 42,35                   | 513,89                             | -                                | 4.981,54                      |
| 2020 | 39,68                   | 559,75                             | 1.148,36                         | 5.249,34                      |
| 2021 | 49,77                   | 583,88                             | 1.197,87                         | 6.524,05                      |
| 2022 | 55,70                   | 646,58                             | 1.326,50                         | 7.643,82                      |
| 2023 | 69,04                   | 684,73                             | 1.404,77                         | 8.103,95                      |
| 2024 | 61,07                   | 716,80                             | 1.470,57                         | 7.810,62                      |

Fonte: CCEE (s.d.)

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO ESPECÍFICA

##### 3.1.1 Processo produtivo do papel

A produção de um produto de qualidade tem início antes da máquina de papel, na etapa de preparação de massa onde ocorrem a desagregação e o refino das fibras além da adição de produtos químicos para formação da massa a ser transformada em papel (CAMPOS; FOELKEL, 2016).

Para cada tipo de papel a ser produzido - tais como papel *tissue*, papeis para embalagens, papel para impressão e escrita, entre outros - podem existir diferenças em processos e maquinários a serem utilizados, no entanto, de maneira geral, o processo de produção do papel ocorre seguindo as etapas descritas a seguir (CAMPOS; FOELKEL, 2016):

- a) **Entrada da massa para formação da folha:** o processamento da massa pela máquina de papel se inicia na caixa de entrada, equipamento cuja função é a de verter, de maneira uniforme, a solução de água, massa e produtos químicos preparada na etapa anterior de (preparação de massa), sobre as telas formadoras. Este componente do maquinário é responsável pela formação da folha de papel e opera em movimento se valendo das características hidrodinâmicas da mistura. A garantia da qualidade do produto final depende bastante desta etapa uma vez que a correta consistência da solução implicará em melhores características de resistência longitudinal e transversal da folha de papel a ser formada nas etapas subsequentes (CAMPOS; FOELKEL, 2016).
- b) **Prensa úmida e secagem:** nestas duas etapas ocorrem o desaguamento da mistura que corre sobre a tela formadora. Primeiramente, a tela formadora corre entre rolos girantes que realizam a prensagem da massa com o objetivo retirar a maior quantidade possível de água da mistura antes da seção de secagem que irá induzir

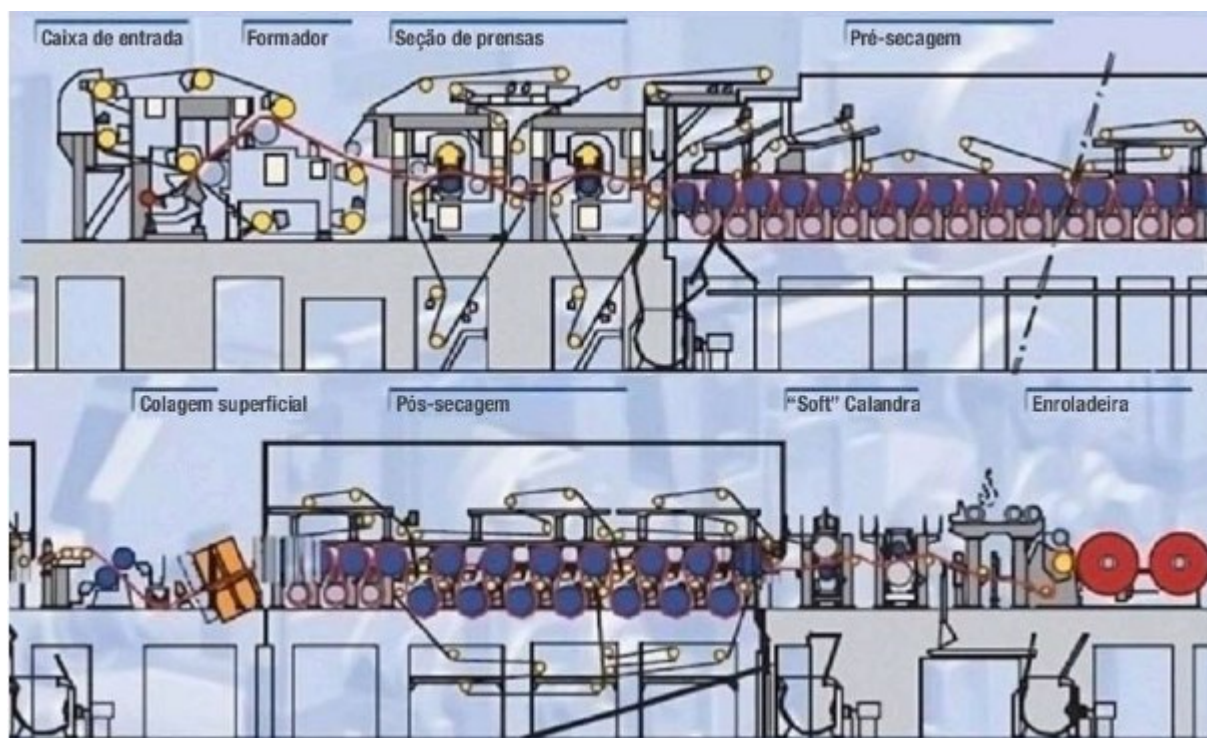
a evaporação da água presente da mistura. Aqui, o elemento responsável pela transferência do calor para a mistura é o vapor de água (CAMPOS; FOELKEL, 2016).

- c) **Colagem e Calandragem:** as etapas de colagem e calandragem ocorrem entre a pré e pós-secagem do papel já na seção seca do maquinário. A colagem envolve o tratamento da superfície da folha de papel geralmente com aplicação de resinas, amido, colas entre outros materiais secundários<sup>1</sup>. A aplicação destes produtos tem por objetivo preencher os espaços vazios entre as fibras que compõem a folha de papel, aumentando, desta forma, as qualidades de resistência do produto quanto a estresses mecânicos assim como aumentando sua resistência à absorção de umidade. A calandragem, por sua vez, é o tratamento mecânico conferido ao papel no qual ocorre a passagem da folha seca entre rolos metálicos sob pressão (FARDIM, 2002).
- d) **Enrolamento:** A etapa final do processo produtivo do papel é a fase de enrolamento na qual o papel é enrolado em bobinas (CAMPOS; FOELKEL, 2016).

Conforme descrito anteriormente, uma especificidade do processo produtivo do papel e da celulose é a utilização do vapor de água no processo produtivo. Na Paraibuna o vapor é produzido em uma caldeira que utiliza como combustível a biomassa de eucalipto na forma de cavaco. De modo a produzir todo o vapor necessário em seu processo, a empresa consome mais de 10 mil toneladas de biomassa todos os meses adquirida através de uma rede de fornecedores parceiros. Além disso, a companhia dispõe de duas caldeiras a gás utilizadas como *backup* para o caso de defeito ou necessidade de manutenção da caldeira à biomassa ou ainda para suprir eventuais quedas de pressão na linha de vapor das máquinas de papel. Para o abastecimento das caldeiras a gás a empresa possui conexão direta com um gasoduto. A figura 6, mostra uma vista lateral resumida de uma máquina de papel, apresentando as diferentes seções do equipamento.



Figura 5 - Visão lateral dos principais processos executados em uma máquina de papel



Fonte: Campos; Foelkel (2016).

### 3.1.2 A empresa

Este trabalho se concentra na unidade fabril da Indústria de Papéis Sudeste Ltda - Sudeste, ou ainda, Paraibuna Embalagens - localizada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Com seus mais de 60 anos de história, a companhia está contida no rol das 10 maiores produtoras de papel e papelão para embalagens do país conforme destaca a reportagem de capa da revista O Papel na sua edição de fevereiro de 2024. Segundo a reportagem a empresa possui atualmente 2% de participação no disputado mercado de papelão ondulado (P.O.) onde o maior *player*, a Klabin, detém 17% do *marketshare*.

Uma das particularidades que diferenciam a Sudeste e a colocam em um nicho específico do mercado é baixa dependência da utilização da celulose e a fabricação de produtos reciclados. Todos os meses a empresa recicla mais de 14 mil toneladas de papel e papelão pós-consumo na sua unidade de Juiz de Fora, planta com

capacidade produtiva de mais de 180 mil toneladas de papel por ano. Além disso, a empresa é reconhecida no mercado como uma das pioneiras do país na utilização de matéria prima reciclada na produção de WTL (*White Top Liner*) ou papel branco, produto que passa por rigorosos testes de qualidade estética como por exemplo o teste de alvura que visa identificar o nível de manchas presente no papel branco - algo muito difícil de atingir com a utilização de papel velho como matéria prima - e por testes de resistência física.

O processo de reciclagem de papel requer o emprego de maquinário pesado principalmente nas etapas de desagregação das fibras (preparação de massa) e de sacanagem do papel. Por isso, são entregues mensalmente à empresa por meio de uma linha de transmissão de 138 kV cerca de 9.000 MWh.

Visando facilitar e baratear o custo de aquisição deste volume de energia elétrica necessário à sua operação, a companhia ingressou no mercado livre de energia. Desde então, o setor de meio ambiente da companhia passou a gerenciar os contratos de compra e venda de energia elétrica junto aos agentes comercializadores vinculados à CCEE e o contrato de demanda firmado com a CEMIG S/A, concessionária responsável pela distribuição da energia elétrica na região de Juiz de Fora, além de continuar responsável pelo acompanhamento de indicadores de eficiência de utilização da energia elétrica tais como o fator de potência, fator de demanda e consumo específico de energia.

### **3.1.3 Contração de Energia**

Em sua estratégia de contratação de energia elétrica, a Paraibuna, através dos setores de meio ambiente e controladoria estimam a demanda energética do parque industrial de Juiz de Fora através da carga instalada e do consumo específico médio da empresa dado em kWh/t (quilowatt hora por tonelada de produção). Desta forma, quando o orçamento empresarial, isto é, o documento que define as metas e objetivos da empresa para o exercício anual e que exprime em números as definições do planejamento estratégico empresarial é elaborado, ele define as produções mensais a serem atingidas e, a partir daí, tem-se uma estimativa do montante energético a ser consumido, já considerando volume de energia a ser cogerado na unidade.

Deste ponto em diante, a companhia vai ao mercado realizar uma consulta de preços junto aos agentes comercializadores que, então, encaminham suas ofertas de venda de energia elétrica para o horizonte estipulado (geralmente de médio prazo, isto é, de dois a cinco anos). Com as devolutivas, a empresa passa à etapa de análise das propostas e opta pela melhor opção.

Nos contratos de energia de longo prazo, assim como traz a REN, ANEEL nº. 957 de 2021, estão definidos os montantes de energia e de potência contratados, os prazos, preços e as garantias financeiras. Uma particularidade dos contratos de energia firmadas pela Paraibuna, no entanto, é que o volume energético contratado é dado em MW médios de modo que sua distribuição ao longo dos meses ocorre de maneira *flat*, ponto que está relacionado a característica da sua operação industrial. Por operar com escala de trabalho 24/7 durante os 365 dias do ano, a empresa não apresenta sazonalidades relevantes nos volumes mensais a serem consumidos e, por conseguinte, contratados. Tal característica é refletiva na definição dos volumes de energia mensais, em MWh, que se dão pela multiplicação da demanda em MW médios e o número de horas do mês em questão.

Uma vez que os volumes contratados têm por base uma projeção da demanda energética da planta industrial, podem e devem ocorrer variações, para mais ou para menos, entre o consumo real apurado e o volume contratado para o mês.

Em ambos os casos, a empresa pode/deve recorrer novamente ao ACL para liquidar, dentro do exercício mensal, o montante de energia remanescente ou faltante de acordo com os prazos definidos pela CCEE. No caso de excedente energético, isto é, em que seu consumo é menor que volume contratado, a companhia pode recorrer ao mercado de curto prazo para venda do excedente energético aos agentes comercializadores. Porém, caso não consiga negociar o excedente dentro dos prazos de liquidação, a empresa deverá arcar com o custo daquele volume sem o ter consumido, uma vez que a compra do volume está, inclusive, prevista em contrato de longo prazo firmado com a comercializadora. Já no caso de déficit energético, no entanto, isto é, em que o consumo foi maior que o volume energético contratado, a empresa se encontra exposta no mercado de curto prazo e deverá cobrir o volume faltante através de um contrato de curto prazo até a data estabelecida pela CCEE. No caso em que a empresa não liquide este montante de energia no MCP isto poderá

implicar no seu desligamento da CCEE conforme prevê o artigo 50 da seção III do capítulo 7 da REN ANEEL nº 957 de 2021.

Quando a empresa observa um aumento recorrente de demanda ou ainda espera pela entrada de novas cargas elétricas em operação na sua planta, ela pode optar por uma nova cotação de preços no mercado ou ainda realizar um aditivo ao contrato já existente no intuito de cobrir contratualmente o volume adicional. Em ambos os casos, são definidas novas cláusulas de volumes, preços garantias financeiras, etc.

### 3.2 PREMISSAS GERAIS E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho se limita ao estudo *ex-post facto* relativo à tomada da decisão empresarial da suspensão da operação de um gerador à vapor instalado na unidade de Juiz de Fora da Indústria de Papéis Sudeste Ltda. Desta forma, serão consideradas nas análises apresentadas nos próximos tópicos, informações de consumo de energia, preços de matéria prima, energia, combustíveis praticados no período de estudo.

Muitas das instalações e maquinários da empresa datam da década de 1960 e, desta forma, muitas informações relativas ao funcionamento dos equipamentos, plantas baixas, manuais, entre outros documentos se perderam com o tempo ou não foram fornecidos a tempo para confecção das análises apresentadas na sequência deste trabalho.

Apesar de sua relevância, não é objetivo do trabalho apresentar de forma detalhada o processo de funcionamento de um gerador a vapor com a abertura da sua curva de geração, eficiência da turbina, tipo de turbina, etc. Além disso, o trabalho também não se propõe a apresentar o funcionamento detalhado de caldeiras à combustão descrevendo ciclos de combustão combinados, curvas de aquecimento entre outras características do equipamento, ficando estes pontos a serem explorados em trabalhos futuros.

As informações relativas à dados de consumo de energia, autoprodução de energia, compra de insumos para a cogeração, contratos de compra e venda de

energia, eficiência de equipamentos e outras premissas operacionais apresentadas a seguir foram fornecidas pela própria empresa e se apoiam em relatórios fiscais, informações extraídas do banco de dados da companhia, documentos e contratos, respeitando políticas da lei geral de proteção de dados (LGPD) quanto a identificação dos fornecedores e dos usuários do sistema.

### 3.3 ABORDAGEM DO PROBLEMA

#### 3.3.1 Obtenção e tratativa dos dados de massa

No intuito de se avaliar a posição da empresa quanto à utilização da energia elétrica no contexto do ano de 2022, recorreu-se aos arquivos dos dados de massa disponibilizados pela companhia. As medições de energia foram e são tomadas em dois pontos distintos da planta industrial sendo o primeiro deles na subestação de energia principal, isto é, o ponto de entrada da energia elétrica na fábrica, e o outro na saída do gerador à vapor. Dessa forma, tem-se as leituras do fluxo total de energia fornecido ao parque fabril pela concessionária e o volume total cogerado pelo gerador separados em duas bases de dados distintas sendo elas a memória de massa da rede e a memória de massa do gerador respectivamente.

No caso do medidor da subestação, por meio de um software especializado foi possível coletar, em arquivo Excel, as aferições da energia ativa e reativa totais entregues à Paraibuna sendo separadas por data e intervaladas entre si em 5 minutos.

Para entender o perfil de carga da empresa, apesar de ter-se acesso ao histórico de consumo desde 2018, analisou-se os dados de um ano de consumo compreendido entre março de 2021 a fevereiro de 2022, quando se optou pela suspensão da operação do gerador. Esta escolha foi tomada visando um melhor desempenho da ferramenta uma vez que apenas a base de dados desse período, e considerando apenas as medições do ponto de entrada da fábrica, representa mais de 105 mil aferições que foram consolidadas em uma base única.

De posse deste conjunto de dados, foi modelada em uma planilha estática com capacidade para 8928 aferições, isto é, suficientemente grande para abranger medições das 00:00 hora do dia primeiro de um mês específico até a última aferição

do dia 31 às 23:55, uma ferramenta de pré-tratamento dos dados de entrada sensível à alteração do mês e do ano conforme demonstra a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Base de dados estática

|      | A          | B           | C             | D              | E               | F                |
|------|------------|-------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| 1    | Mês:       | Março       |               |                |                 |                  |
| 2    | Dia        | Hora        | Energia Ativa | Potência Ativa | Energia Reativa | Potência Reativa |
| 3    | 01/03/2021 | 00:00:00000 | 518,25        | 6.139,53       | 220,03          | 2.596,61         |
| 4    | 01/03/2021 | 00:05:00000 | 511,12        | 6.180,78       | 216,45          | 2.622,77         |
| 5    | 01/03/2021 | 00:10:00000 | 513,94        | 6.173,21       | 218,82          | 2.621,20         |
| 6    | 01/03/2021 | 00:15:00000 | 511,26        | 6.145,26       | 215,83          | 2.604,41         |
| 7    | 01/03/2021 | 00:20:00000 | 503,39        | 6.114,37       | 215,42          | 2.600,27         |
| 8    | 01/03/2021 | 00:25:00000 | 511,95        | 6.106,43       | 218,24          | 2.597,95         |
| 9    | 01/03/2021 | 00:30:00000 | 517,17        | 6.130,05       | 218,32          | 2.607,89         |
| 8925 |            |             |               |                |                 |                  |
| 8926 |            |             |               |                |                 |                  |
| 8927 |            |             |               |                |                 |                  |
| 8928 | 31/03/2021 | 23:30:00000 | 502,00        | 6.066,84       | 201,08          | 2.465,08         |
| 8929 | 31/03/2021 | 23:35:00000 | 504,90        | 6.026,27       | 202,94          | 2.416,40         |
| 8930 | 31/03/2021 | 23:40:00000 | 509,16        | 6.064,20       | 203,47          | 2.429,98         |
| 8931 | 31/03/2021 | 23:45:00000 | 504,30        | 6.073,40       | 199,69          | 2.424,42         |
| 8932 | 31/03/2021 | 23:50:00000 | 507,61        | 6.084,24       | 203,91          | 2.428,27         |
| 8933 | 31/03/2021 | 23:55:00000 | 522,15        | 6.136,23       | 205,04          | 2.434,53         |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

No entanto, a memória de massa que gera a base dados exibida na Tabela 2 disponibiliza apenas as medições, respectivamente em kWh e KVar, de energia ativa e reativa para cada aferição. Logo, utilizou-se de um artifício para a estimativa da demanda horária equivalente à cada entrada de dados.

Valendo-se do princípio de que o consumo energético aferido para o período de 1 hora corresponde à potência demandada no mesmo período, calculou-se a potência horária da fábrica a partir da soma de 3 medições consecutivas de energia - significando o consumo energético total em um quarto de hora - multiplicada por 4. Assim, a potência ativa exibida na imagem anterior para o dia 01/03/2021 às 00:10, por exemplo, é o resultado do somatório das medições de energia ativa das 00:00, 00:05 e 00:10 do dia primeiro de março de 2021 multiplicado por 4. Esta estratégia foi adotada visando capturar a variações próximas ao ponto para o qual se desejava calcular a potência, no entanto, poderia ter sido usado qualquer outro critério, por exemplo, o de somar as medições de energia de uma hora completa.

Com a necessidade de se analisar o fator de carga da companhia por posto horário, criou-se uma outra planilha alimentada pela base estática que separa de



maneira mais visual, para cada um dos dias do mês, as medições de energia ativa e energia reativa e os cálculos de demanda ativa e reativa cujo formato é apresentado na Tabela 3, para o dia primeiro de maio de 2021.

Tabela 3 - Planilha de consumo diário

| 1 | CONSUMO DE ENERGIA - REDE |             |                |               | DEMANDA ATIVA | DEMANDA REATIVA |
|---|---------------------------|-------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|
|   | Date                      | Time        | kWh Forn       | Kvar Forn     |               |                 |
|   | 01/05/2021                | 00:00:00000 | 531,018982     | 206,433716    | 6.385,87      | 2.511,35        |
|   | 01/05/2021                | 00:05:00000 | 532,858398     | 210,230438    | 6.395,80      | 2.509,68        |
|   | 01/05/2021                | 00:10:00000 | 538,957642     | 211,940094    | 6.411,34      | 2.514,42        |
|   | 01/05/2021                | 00:15:00000 | 527,304321     | 206,876877    | 6.396,48      | 2.516,19        |
|   | 01/05/2021                | 00:20:00000 | 527,52417      | 206,804825    | 6.375,14      | 2.502,49        |
|   | 01/05/2021                | 00:25:00000 | 537,034119     | 211,396515    | 6.367,45      | 2.500,31        |
|   | 01/05/2021                | 00:30:00000 | 525,092651     | 208,111862    | 6.358,60      | 2.505,25        |
|   | 01/05/2021                | 00:35:00000 | 521,078735     | 205,084824    | 6.332,82      | 2.498,37        |
|   | 01/05/2021                | 00:40:00000 | 526,780396     | 207,480118    | 6.291,81      | 2.482,71        |
|   | 01/05/2021                | 00:45:00000 | 527,899719     | 207,487625    | 6.303,04      | 2.480,21        |
|   | 01/05/2021                | 00:50:00000 | 527,192383     | 206,827209    | 6.327,49      | 2.487,18        |
|   | 01/05/2021                | 00:55:00000 | 537,528564     | 210,920929    | 6.370,48      | 2.500,94        |
|   | 01/05/2021                | 01:00:00000 | 541,699036     | 212,380966    | 6.425,68      | 2.520,52        |
|   | .                         | .           | .              | .             | .             | .               |
|   | .                         | .           | .              | .             | .             | .               |
|   | .                         | .           | .              | .             | .             | .               |
|   | 01/05/2021                | 23:00:00000 | 483,262115     | 179,282852    | 5.793,02      | 2.164,65        |
|   | 01/05/2021                | 23:05:00000 | 490,572113     | 185,818268    | 5.832,53      | 2.183,02        |
|   | 01/05/2021                | 23:10:00000 | 474,427673     | 178,718185    | 5.793,05      | 2.175,28        |
|   | 01/05/2021                | 23:15:00000 | 496,751648     | 188,797073    | 5.847,01      | 2.213,33        |
|   | 01/05/2021                | 23:20:00000 | 510,530548     | 196,541931    | 5.926,84      | 2.256,23        |
|   | 01/05/2021                | 23:25:00000 | 508,335876     | 195,526611    | 6.062,47      | 2.323,46        |
|   | 01/05/2021                | 23:30:00000 | 500,564148     | 186,222397    | 6.077,72      | 2.313,16        |
|   | 01/05/2021                | 23:35:00000 | 497,36853      | 186,522903    | 6.025,07      | 2.273,09        |
|   | 01/05/2021                | 23:40:00000 | 486,944824     | 183,380569    | 5.939,51      | 2.224,50        |
|   | 01/05/2021                | 23:45:00000 | 495,376007     | 184,328201    | 5.918,76      | 2.216,93        |
|   | 01/05/2021                | 23:50:00000 | 493,996033     | 183,423401    | 5.905,27      | 2.204,53        |
|   | 01/05/2021                | 23:55:00000 | 492,757141     | 187,213425    | 5.928,52      | 2.219,86        |
|   | <b>CONSUMO TOTAL</b>      |             | <b>143.896</b> | <b>55.813</b> |               |                 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir desta base levantou-se os valores máximos das demandas ativas e reativas para os períodos de ponta, fora de ponta e total diário bem como calculou-se o fator de carga diário e por posto horário, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculos de demandas máximas e fator de carga a partir da base diária

| <b>Demanda</b>      | <b>kW</b> | <b>kVAr</b> |
|---------------------|-----------|-------------|
| Maxima Ponta        | 6.212     | 2.429       |
| Maxima Fora Ponta 1 | 6.605     | 2.758       |
| Maxima Fora Ponta 2 | 6.113     | 2.323       |
| Média Ponta         | 5.904     | 2.286       |
| Média Fora de Ponta | 6.011     | 2.332       |
| Média Geral         | 5.997     | 2.327       |

| <b>Fator de Carga</b> |        |
|-----------------------|--------|
| Horário de Ponta      | 0,9504 |
| Horário Fora de Ponta | 0,9101 |
| Total                 | 0,9080 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Na tabela acima (Tabela 4), os valores máximos obtidos para a demanda do posto horário fora de ponta identificados como “Máximo Fora Ponta 1” e “Máximo Fora ponta 2” foram utilizados como um artifício para obtenção de um valor máximo geral para o horário fora de ponta. Isto porque no *Excel* a função “MAIOR” não permite a seleção de dois intervalos como argumento. Logo, como o horário fora de ponta de um dia específico se inicia as 0:00 e vai até as 16:55 retornando as 20:00 e finalizando as 23:55, fez-se necessário a criação de dois máximos: o “Máximo Fora Ponta 1” para o primeiro intervalo - compreendido entre 0:00 e 16:55 – e o “Máximo Fora Ponta 2” para o segundo – compreendido entre 20:00 e 23:55.

Deste modo, para obtenção do valor máximo da demanda para o horário fora de ponta bastou obter o maior valor entre o “Máximo Fora Ponta 1” e o “Máximo Fora Ponta 2”.

Em seguida, em uma tabela resumo concentrou-se as informações de demanda máxima por posto horário acompanhadas de suas respectivas médias conforme mostra a Tabela 5, abaixo.



Tabela 5 - Base resumo de demandas máximas e médias por posto horário

| Datas                 |            | Demanda Ativa |              |               |              |              |              |
|-----------------------|------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Dias                  | Data       | Ponta kW      | Média HP     | Fora Ponta kW | Média HFP    | Total kW     | Média Geral  |
| 1                     | 01/05/2021 | 6.212         | 5.904        | 6.605         | 6.011        | 6.605        | 5.997        |
| 2                     | 02/05/2021 | 6.242         | 5.956        | 6.462         | 6.011        | 6.462        | 6.004        |
| 3                     | 03/05/2021 | 6.486         | 5.903        | 6.599         | 5.693        | 6.599        | 5.719        |
| 4                     | 04/05/2021 | 140           | 125          | 6.801         | 3.146        | 6.801        | 2.768        |
| 5                     | 05/05/2021 | 5.526         | 3.600        | 6.439         | 4.675        | 6.439        | 4.541        |
| .                     | .          | .             | .            | .             | .            | .            | .            |
| .                     | .          | .             | .            | .             | .            | .            | .            |
| 26                    | 26/05/2021 | 6.603         | 5.719        | 6.680         | 6.234        | 6.680        | 6.170        |
| 27                    | 27/05/2021 | 6.489         | 6.381        | 7.195         | 6.399        | 7.195        | 6.397        |
| 28                    | 28/05/2021 | 6.184         | 6.027        | 6.705         | 6.184        | 6.705        | 6.164        |
| 29                    | 29/05/2021 | 6.513         | 6.011        | 6.564         | 6.095        | 6.564        | 6.084        |
| 30                    | 30/05/2021 | 6.262         | 6.051        | 6.455         | 5.570        | 6.455        | 5.630        |
| 31                    | 31/05/2021 | 6.343         | 5.753        | 6.707         | 5.727        | 6.707        | 5.730        |
| <b>Máximas/Médias</b> |            | <b>7.045</b>  | <b>5.400</b> | <b>7.850</b>  | <b>5.646</b> | <b>7.045</b> | <b>5.615</b> |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Com a separação na base resumo, criou-se ainda o *dashboard* apresentado no apêndice 1 deste trabalho através do qual é possível ter uma visão mensal das potências ativas e do fator de carga por posto horário.

A título da análise a que se propõem este trabalho, para o cálculo do fator de carga bem como das demandas máximas dos horários de ponta e fora de ponta não foi levado em consideração se o dia da semana era um sábado, domingo ou um feriado, visto que a proposta do trabalho é analisar se os maiores fatores de carga ocorrem nos horários de ponta. Logo, independentemente da data, para o horário de ponta, tomou-se as medições e estimativas relativas ao período compreendido entre as 17 e 20 horas de cada dia, e, para o posto fora de ponta as medições dos demais horários. Esta premissa é tida como razoável uma vez que, para uma empresa que opera ininterruptamente durante todos os dias do ano, ter um procedimento de operação diferente para os sábados, domingos e feriados torna-se muito complexo operacionalmente falando, ainda mais quando se considera que os operadores trabalham em regime de turnos com escalas.

Quanto às medições da cogeração as tratativas dos dados foram parecidas com a diferença que a base das leituras de autoprodução de energia possuía um formato ligeiramente diferente. Ao invés de trazer dados de energia ativa e reativa

assim como o medidor da rede, os dados de geração são referentes a energia ativa e energia aparente. Levantou-se também a memória de massa do gerador para o mesmo período, isto é, de março de 2021 a fevereiro de 2022 quando a operação do gerador foi descontinuada por tempo indeterminado.

Assim como no caso da memória de massa da rede, trabalhou-se as medições da cogeração de modo a se gerar as estimativas de potência ativa por medição e levá-las a uma base estática com os dados de um único mês. Em seguida, na planilha de consumo diário, foi possível separar de forma visual o volume energético e as relativas estimativas de potência cogerada a cada medição. No entanto, diferentemente da base referente ao consumo da rede, onde procurou-se apresentar por posto horário o indicador de fator de carga, o objetivo aqui é o de estimar as médias e máximas potências ativas fornecidas pelo gerador a serem usadas de base para análises.

Assim como no caso da memória de massa da rede, trabalhou-se as medições da cogeração de maneira parecida no intuito de se gerar as estimativas de potência ativa através das aferições. No entanto, diferentemente dos dados de consumo da rede, a base de dados do gerador já apresenta suas medições em termos das potências ativa e aparente ao invés de exibir dados de consumo de energia, requerendo menos tratativas.

O objetivo do levantamento dos dados do gerador, em contrapartida, é o de se estimar a potência ativa média fornecida pelo equipamento, para que se tenha um valor de referência a ser utilizado para o cálculo da redução da demanda da fábrica.

### **3.3.2 Faturamento da energia elétrica**

O faturamento da energia elétrica é composto, basicamente, por duas grandes parcelas sendo elas a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e a Tarifa de Energia (TE).

#### ***3.3.2.1 Tarifação do contrato de demanda e componente de encargos***

A tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) é regulada pela ANEEL e tem seu faturamento dependente do grupo de consumo ao qual o cliente pertence bem como sua condição de carga, volume de demanda contratado, entre outros fatores.

Com base no anexo LIII, módulo 7 da REN ANEEL nº 1060 de 7 de fevereiro de 2023 a TUSD é a junção de diversas componentes de custo conforme apresentado na Figura 7.

Figura 6 - Componentes da TUSD



Fonte: Anexo LI, módulo 7, submódulo 7.1, versão 2.8 do PRORET definida pela REN nº 1060/2023.

O detalhamento apresentado na figura 7, mostra a complexidade da composição da TUSD para o faturamento da energia elétrica pelas concessionárias. No entanto, do ponto de vista do consumidor o que se tem na fatura de energia são algumas linhas resumo contendo quantidades consumidas de energia e demanda, as tarifas em reais por unidade para cada linha e o valor total em reais cobrado. Como este trabalho objetiva apresentar uma análise de econômica sob a ótica da unidade consumidora, serão observadas a seguir, de maneira simplificada, a forma como ocorre a cobrança sobre as componentes de fio e de encargos por entender-se que estes serão os principais componentes da fatura a serem alterados quando da operação do gerador, seja por possível redução da demanda máxima seja pela redução do consumo de energia elétrica.

Conforme previsto na REN ANEEL nº 1000 de 7 de dezembro de 2021, a Sudeste se enquadra, quanto a sua tensão de fornecimento, ao segmento de consumidores A2, subgrupo reservado a unidades consumidoras com tensão de fornecimento entre 88 kV e 138 kV. A modalidade tarifária prevista para este grupo é,

ainda, definida no documento no artigo 220, que dispõem que os consumidores atendidos com tensão de conexão superior a 69 kV estão sujeitos à modalidade tarifária horária azul.

Ainda segundo a REN ANEEL nº 1000, no capítulo IV, seção II art. 157, a concessionária de energia elétrica deve firmar com unidades consumidoras do grupo A o Contrato do Uso do Sistema de Distribuição (CUSD). No capítulo V da mesma resolução, a ANEEL define que o contrato deve estipular entre outras informações a data de início e o prazo de vigência contratual, modalidade tarifária, horário dos postos tarifários, montante contratado por posto tarifário, tensão contratada e condições de aplicação de cobrança por ultrapassagem de limites.

No documento, define-se que o posto horário ponta é um período diário - excluindo-se sábados, domingos e feriados - com 3 horas de duração consecutivas a ser definido pela distribuidora. Na seção V do capítulo V, a resolução define que a distribuidora deve aplicar os postos tarifários ponta e fora de ponta em sua área de atuação com adesão compulsória das unidades consumidoras atendidas pela modalidade tarifária horária. Deste modo, por se enquadrar no grupo A2 e possuir modalidade tarifária horária azul. No caso da CEMIG distribuição, concessionária que atende o trecho onde se instala a unidade de Juiz de Fora da Paraibuna Embalagens, o horário de ponta durante os anos de 2021 e 2022 era o período compreendido entre as 17 e 20 horas.

A partir das faturas TUSD da companhia no período analisado, percebeu-se que a até setembro de 2021 a empresa possuía uma demanda contratada 7.700 kW para ambos os postos horários e, a partir de outubro de 2021, a companhia alterou o contrato junto à concessionária, passando o limite para 12.857 kW, aumento que se justificava pela previsão de entrada de novas cargas tanto com o *retrofit* de uma das máquinas de papel quanto com o *start up* da estação de tratamento de efluentes secundária.

Do ponto de vista do consumidor do subgrupo A2 modalidade tarifária azul, a cobrança sobre a demanda máxima registrada, isto é, as componentes de fio da TUSD, definida pelo no módulo 7.2 do PRORET, é realizada através da aplicação de tarifas dadas em R\$/MW homologadas pela ANEEL para os postos ponta e fora de ponta.

Além do faturamento regular das demandas energéticas nos postos horários, a REN ANEEL nº 1000 previa, à época, em seu capítulo V seção VI, a aplicação de penalidade tarifária quando da ultrapassagem de 5% da demanda contratada. No caso da Paraibuna, então - e utilizando como exemplo o contrato de demanda válido até setembro de 2021, de 7.700 kW - a empresa poderia apresentar dentro do exercício mensal pico de demanda de até 8.085 kW sem que houvesse aplicação de penalidade sobre a tarifa de demanda. Até o limite, portanto, para todos os 8.085 kW seria cobrada tarifa normal, isto é, sem penalidade, respeitando obviamente o valor previsto para o posto horário do registro. Só haveria penalidade na tarifa de demanda caso a ultrapassagem excedesse a tolerância de 5%, sendo ela aplicada sobre todo o montante da ultrapassagem. Suponha-se que em determinado mês a empresa registrasse demanda máxima de 8.086 kW para o posto horário fora de ponta. Como este valor é superior à tolerância de 5%, em sua fatura, a concessionária aplicaria a tarifa normal (sem penalidades) sobre os 7.700 kW de demanda contratada, porém os 386 kW excedentes seriam tarifados com a penalidade de ultrapassagem. A tabela 6, a seguir, resume o exemplo acima.

Tabela 6 - Tabela exemplo faturamento de demanda (valores em kW)

| Posto Horário | Demanda Contratada | Tolerância 5% | Demanda Máxima Registrada | Demanda Faturada (sem Penalidade) | Demanda Faturada (com Penalidade) |
|---------------|--------------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Ponta         | 7.700              | 8.085         | 8.085                     | 8.085                             | 0                                 |
| Fora de Ponta | 7.700              | 8.085         | 8.086                     | 7.700                             | 386                               |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Como apresentado anteriormente na figura 7, a componente de encargos da TUSD tem por objetivo recuperar os custos de pesquisa e desenvolvimento de eficiência energética (P&DEE); taxa de fiscalização de serviços de energia elétrica (TFSEE); contribuição para o ONS; quota da conta de desenvolvimento Energético (CDE); programa de incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA); e quota da conta de desenvolvimento energético associada aos empréstimos da conta COVID e conta escassez hídrica (CDE CONTAS). No entanto, do ponto de vista da unidade consumidora do subgrupo A2, regime tarifário horário azul, é cobrada uma tarifa, sem distinção por posto horário, sobre o volume energético entregue dada em R\$/MWh.

A Figura 8, a seguir, retirada da cobrança da TUSD referente a outubro de 2021, mostra do ponto de vista do cliente o faturamento das componentes de encargos e do fio.

Com base nas faturas de energia do período de estudo que foram fornecidas pela Paraibuna Embalagens, criou-se uma tabela resumo das tarifas, exibida a seguir pela Tabela 7.

Figura 7 - Faturamento TUSD outubro de 2021

|                            |                         |  |                            |                |                  |                 |
|----------------------------|-------------------------|--|----------------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Classe<br>Industrial       | Subclasse<br>Industrial | Modalidade Tarifária<br>TUSD Livre A2 Azul | Datas de Leitura           |                |                  | Data de Emissão |
|                            |                         |  | Anterior<br>30/09          | Atual<br>31/10 | Próxima<br>30/11 | 04/11/2021      |
| Informações de faturamento |                         |  |                            |                |                  |                 |
|                            |                         |  |                            |                |                  |                 |
| Informações Gerais         |                         |  | Valores Faturados          |                |                  |                 |
|                            |                         |  | Descrição                  | Quantidade     | Tarifa/Preço     | Valor(R\$)      |
|                            |                         |  | Componente Fio kW HFP      | 7.896          | 6,31962520       | 49.899,75       |
|                            |                         |  | Componente Fio kW HP       | 7.804          | 14,55491931      | 113.586,58      |
|                            |                         |  | Componente Encargo kWh HFP | 4.284.676      | 0,06237376       | 267.251,34      |
|                            |                         |  | Componente Encargo kWh HP  | 367.393        | 0,06237376       | 22.915,66       |
|                            |                         |  | Energia Reativa kWh HFP    | 11.069         | 0,28454971       | 3.149,66        |
|                            |                         |  | Energia Reativa kWh HP     | 1.424          | 0,28454971       | 405,18          |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Tabela 7 - Tarifas das componentes de encargo (R\$/kWh) e fio (R\$/kW) por posto horário

| Mês    | Componente Encargos |               | Componente Fio |               |
|--------|---------------------|---------------|----------------|---------------|
|        | Ponta               | Fora de Ponta | Ponta          | Fora de Ponta |
| mar/21 | 0,0676596           | 0,06765962    | 12,425789      | 5,20779086    |
| abr/21 | 0,0682927           | 0,06829268    | 12,542052      | 5,25651808    |
| mai/21 | 0,0669879           | 0,06698791    | 12,702621      | 5,35215054    |
| jun/21 | 0,0626215           | 0,06262151    | 14,612731      | 6,34472666    |
| jul/21 | 0,0625757           | 0,06257573    | 14,602047      | 6,34008774    |
| ago/21 | 0,062687            | 0,06268704    | 14,628021      | 6,35136549    |
| set/21 | 0,0621925           | 0,06219246    | 14,512613      | 6,3012561     |
| out/21 | 0,0623738           | 0,06237376    | 14,554919      | 6,3196252     |
| nov/21 | 0,0624974           | 0,06249739    | 14,583768      | 6,33215105    |
| dez/21 | 0,0618905           | 0,0618905     | 14,442149      | 6,27066116    |
| jan/22 | 0,0624778           | 0,06247784    | 14,579205      | 6,33016999    |
| fev/22 | 0,0619673           | 0,06196731    | 14,460074      | 6,27844435    |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

É válido notar que de acordo com a Tabela 7, o valor da tarifa da componente de encargo é o mesmo para os postos horários ponta e fora de ponta.

### 3.3.2.2 Tarifa de energia e preços do mercado de curto prazo

Conforme discutido anteriormente, para os consumidores livres a tarifa de energia (TE) que compõem o faturamento da energia ao lado da TUSD é negociado por contratos bilaterais firmados entre o agente consumidor e o agente comercializador no ACL.

Prevendo a entrada de novas cargas elétricas em seu parque industrial, sobre contrato de longo prazo pré-existente, a empresa assinou um termo aditivo para aumento gradual do volume de energia contratado da seguinte forma:

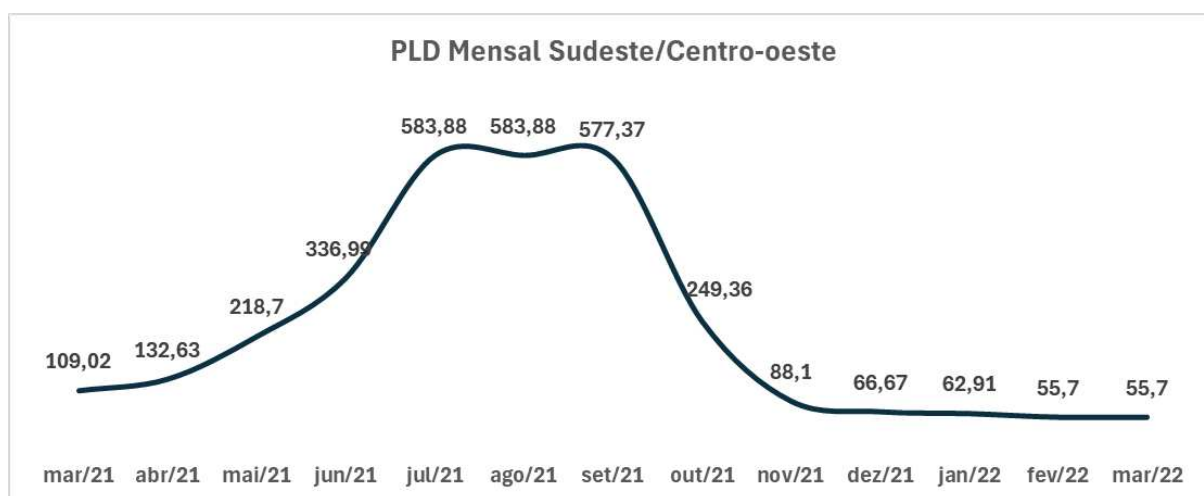
- 5,8 MW médios de 01/02/2021 a 31/10/2021 a R\$ 217,76/MWh;
- 8,6 MW médios de 01/11/2021 a 31/12/2022 a R\$ 214,76/MWh.

O contrato possuía data base 01/11/2020 e foi firmado com condição de sazonalização, modulação e flexibilidade *flats* com reajustes a cada 12 meses pela variação do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).



Enquanto a empresa buscava a cobertura da maior porção possível do consumo previsto no ACL, montantes excedentes e déficits deveriam ser liquidados no mercado de curto prazo (MCP). Por isso, apresenta-se a seguir a figura 9 que traz um gráfico com o PLD mensal para o submercado Sudeste/Centro-oeste para o período de março de 2021 a fevereiro de 2022 a ser usado de base para as análises presentes na sequência deste trabalho.

Figura 8 – Gráfico do PLD mensal para o submercado Sudeste/Centro-oeste



Fonte: Elaborada pelo autor com base no histórico de preços da CCEE (2024).

### 3.3.3 Capacidade e premissas de custeio da Cogeração

No processo produtivo da Paraibuna, o vapor produzido na caldeira é destinado às máquinas de papel. Em uma iniciativa de eficiência energética a empresa possui instalado em sua planta um gerador para o qual pode-se desviar parte do fluxo de vapor no caminho deste para o processo produtivo do papel.

Uma particularidade do sistema de cogeração da companhia é que o mesmo não possui ligação com a rede elétrica da concessionária. Deste modo, o volume cogerado deve exclusivamente atender às cargas internas da fábrica, não fazendo sentido sua operação quando de eventuais paradas de máquina.

Por não se ter acesso à potência nominal do equipamento (gerador) baseou-se nos dados de cogeração obtidos através das medições de períodos anteriores a parada de sua operação para a estimativa de sua capacidade de geração. Além disso, por não se conhecer a eficiência da conversão da energia do vapor em energia elétrica



pelo equipamento, será proposto aqui uma análise baseada em três cenários de ineficiência. Neles, o gerador apresentaria perdas de 10%, 15% e 20% sobre a energia do vapor.

Em termos de custo, as premissas de ineficiência indicam que para cada cenário, parte do custo de produção de vapor seria perdido em contrapartida ao preço da energia elétrica cogenerada. Neste quesito, para as análises de viabilidade econômica a serem apresentadas mais adiante neste documento, adota-se a premissa de que o volume cogenerado será valorado ao preço da energia elétrica no MCP, uma vez que a companhia possuía, em fevereiro de 2022, cobertura contratual de 8,6 MW médios.

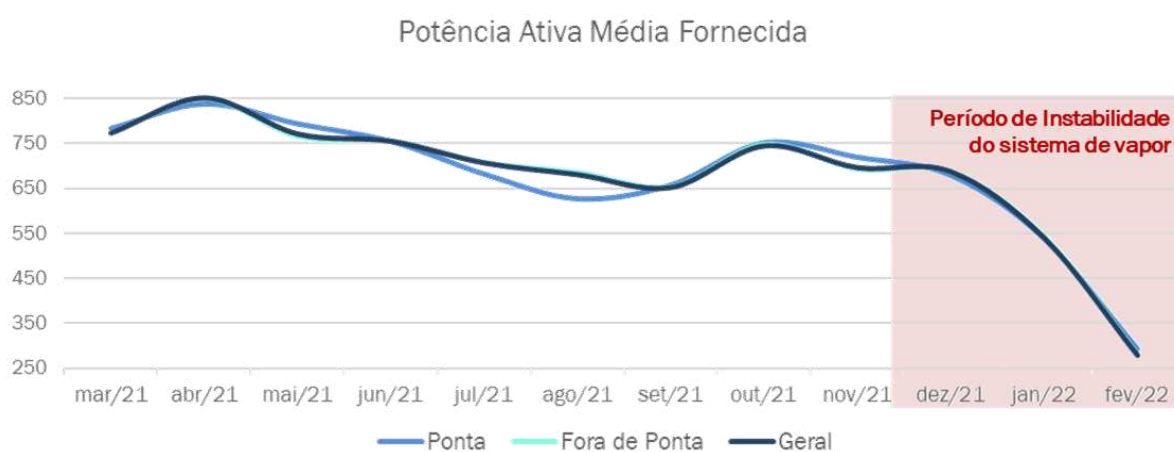
Desta forma, em sua tomada de decisão, caso a companhia optasse pela não cogeração e houvesse déficit energético no exercício mensal, este deveria ser coberto com uma negociação contratual no mercado spot, a ser valorada com base no PLD. Neste ensejo, tem-se ainda o caso no qual a companhia opta pela cogeração, decisão a partir da qual poder-se-ia chegar ao cenário de excedente energético que também seria negociado no MCP não ao preço do contrato, mas sim com base no PLD vigente. No limite, pode-se imaginar também a situação em que o volume cogenerado é exatamente suficiente para cobertura do volume consumido que excede o volume contratado. Ainda assim, a título do custo de oportunidade da operação, a precificação do volume cogenerado será pelo PLD, já que, caso não tivesse cogenerado, a empresa liquidaria o volume no mercado spot.

Por não possui ligação direta com a rede e pelo vapor ser produzido com a finalidade primordial de secar o papel nas máquinas, quando ocorriam paradas operacionais no processo produtivo o gerador era desligado ou tinha seu fluxo de vapor reduzido ou interrompido, sendo comum encontrar aferições de longos períodos com valor zero na base de dados. Por isso, a fim de se estimar a potência média fornecida pelo equipamento, as medições de potência iguais a zero presentes na base foram desconsideradas.

Quando as máquinas de papel operam com velocidade reduzida o fluxo de vapor da gerado pela caldeira é diminuído por economia de combustíveis e, nestes momentos, o gerador ligado ao circuito de vapor opera com um menor fluxo na sua turbina o que resulta em uma menor potência fornecida. Além disso, em momentos

próximos aos zeros da base de dados temos os transitórios das curvas de ligação ou desligamento do gerador. Todos estes casos reduzem a média da potência ativa fornecida e nos distanciam de uma estimativa mais realista da potência de operação do equipamento. Para expurgar estes efeitos, foi realizado o cálculo do desvio padrão sobre a base de dados, e, para o cálculo da média de potência de operação do gerador considerou-se apenas as amostras dentro da faixa compreendida entre a média mais e menos o desvio padrão. A Figura 10, a seguir, ilustra em um gráfico a potência média fornecida pelo gerador após as tratativas.

Figura 9 – Gráfico da potência média fornecida pelo gerador



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir dos resultados obtidos com as tratativas sobre a base, exibidos no gráfico anterior, não foi observada uma correlação direta entre o posto horário e aumento ou diminuição da potência ativa média fornecida. Também se observou que ao longo dos meses - dentro do período de análise - a média mensal da potência ativa geral - que despreza o posto horário da medição - fornecida pelo gerador ficou contida na faixa entre 850 e 650 kW no período de março de 2021 à outubro de 2021. A empresa, no entanto, relatou que passou por um período de instabilidade em sua caldeira a partir de meados de novembro de 2021 - principalmente porque o equipamento estava com sua garantia operacional comprometida devido aos anos de uso (vida útil) – o que justifica a abrupta redução da demanda do gerador nos meses subsequentes. Portanto, para as análises presentes na sequência deste trabalho, a potência média da cogeração considerada será de 740 kW, valor obtido pela média

geral realizada entre março e outubro de 2021, observadas as tratativas indicadas anteriormente.

Para a produção de vapor utilizado tanto no processo produtivo - na etapa de secagem do papel - quanto na autoprodução de energia elétrica, a companhia emprega uma caldeira - chamada de caldeira Dedine - com capacidade de fornecimento nominal de 30 toneladas de vapor por hora. Para tanto, para cada tonelada de vapor produzida em uma hora o equipamento consome 1,1 m<sup>3</sup> de cavaco de eucalipto. Em média, para cada m<sup>3</sup> de cavaco tem-se uma massa de 315 quilos. A Tabela 8, resume essas premissas de operação da caldeira Dedine.

Tabela 8 - Premissas da caldeira Dedini

| Premissas Caldeira Dedini    | Unid.             | Valor  |
|------------------------------|-------------------|--------|
| Vazão de Vapor               | kg/h              | 30.000 |
| Consumo Específico de Cavaco | tc/h              | 1,1    |
| Densidade Cavaco             | kg/m <sup>3</sup> | 315    |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A necessidade de vapor consumida no processo de produção é ditada pela premissa de consumo das máquinas. No período analisado, a companhia possuía duas máquinas de papel em operação. A primeira e mais antiga, a MP04, tem um consumo de 2,5 toneladas de vapor para cada tonelada de papel produzido. Já a MP07, equipamento mais moderno, consome cerca de 2,3 toneladas de vapor para cada tonelada de papel. Utilizando como parâmetros suas capacidades produtivas de referência do ano de 2022 apresenta-se uma tabela resumo (Tabela 9) com informações de produção mensal de referência e necessidade de vapor de cada uma das máquinas de papel para um exercício mensal de 30 dias.

Tabela 9 – Premissas de consumo de vapor da fábrica

| MP04                          | Unid.     | Valor         |
|-------------------------------|-----------|---------------|
| Dias Trabalhados              | d         | 30            |
| Produção Mensal               | tp/mês    | 1.382         |
| Consumo Específico de Vapor   | tv/tp     | 2,5           |
| Consumo de Vapor              | tv/mês    | 3.456         |
| MP07                          | Unid.     | Valor         |
| Dias Trabalhados              | d         | 30            |
| Produção Mensal               | tp/mês    | 7.309         |
| Consumo Específico de Vapor   | tv/tp     | 2,3           |
| Consumo de Vapor              | tv/mês    | 16.811        |
| <b>Consumo Total de Vapor</b> | <b>tv</b> | <b>20.267</b> |

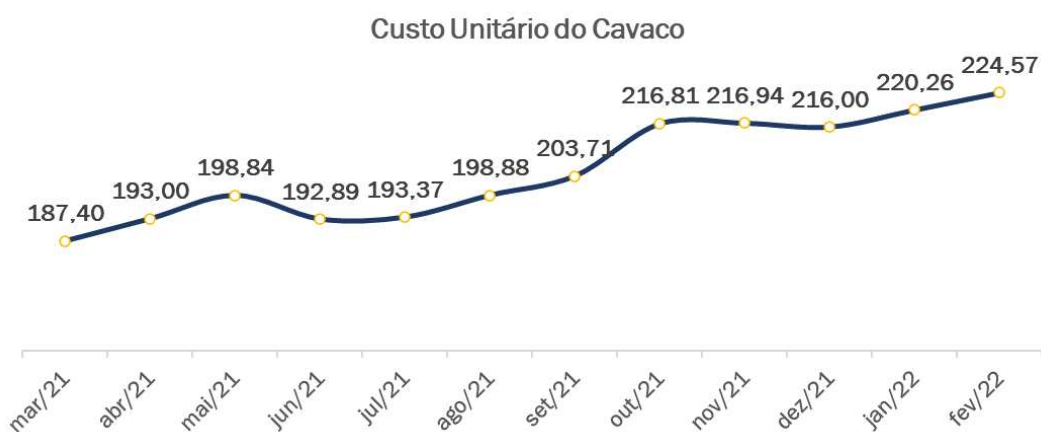
\*tv = toneladas de vapor

\*tp = tonelada de papel

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Por fim, apresenta-se o custo do cavaco que é composto pelo valor do insumo acrescido do valor do frete até a empresa. Através de um relatório do banco de dados da companhia foi possível levantar o custo total sem impostos das notas fiscais de cavaco e seu frete bem como as quantidades adquiridas pra que se chegasse ao custo unitário de cada tonelada de cavaco colocada na empresa. Os resultados são apresentados na Figura 11, a seguir.

Figura 10 – Gráfico do histórico do custo unitário do cavaco



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir do gráfico anterior, percebe-se uma escalada no patamar de preço do insumo da produção de vapor principalmente em outubro de 2021 quando

houve um reajuste de 6,4% em relação ao mês anterior. De outubro em diante o preço orbitou por volta de 218 reais por tonelada e as variações observadas podem ser atribuídas ao valor do frete, que varia dependendo da distância entre o fornecedor e a empresa, estando não necessariamente relacionada ao preço do insumo em si.

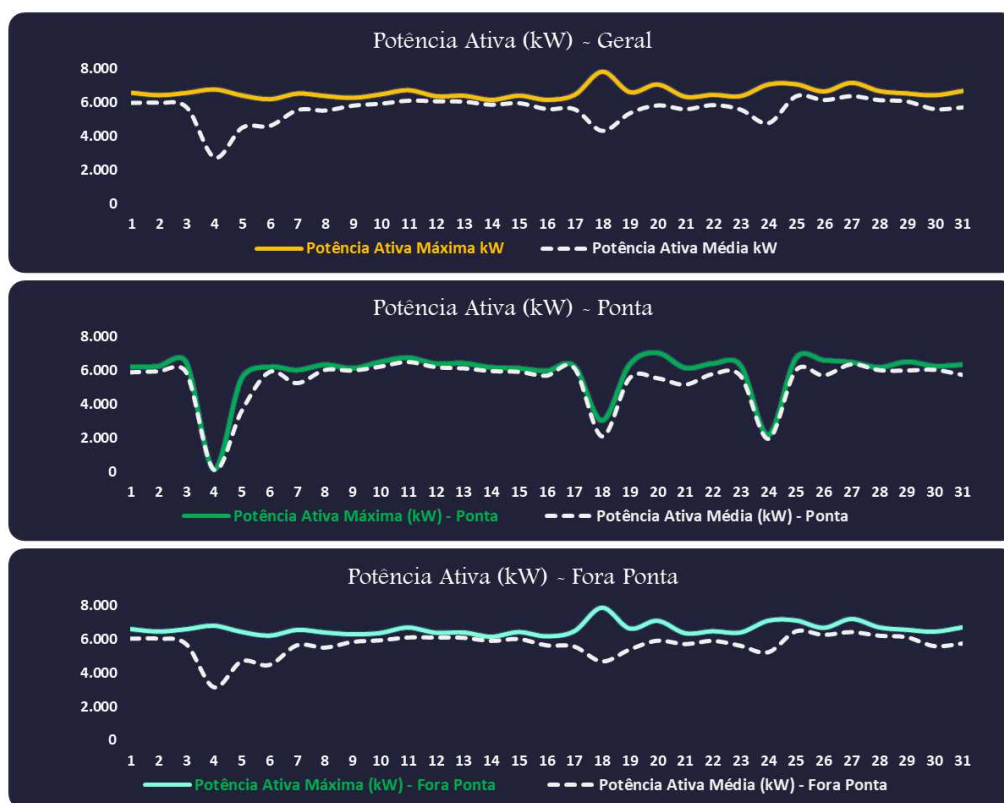
## 4 ANÁLISES E RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISES DE FATOR DE CARGA

Após a etapa de tratativa dos dados de energia e potência fornecidas pela rede da concessionária, construiu-se um dashboard - apresentado no apêndice I deste trabalho - que permite a análise gráfica da potência ativa por posto horário bem como os seus respectivos fatores de carga de carga em cada mês.

Como resultados percebeu-se uma forte correlação entre fatores de carga mais altos e o posto horário ponta conforme mostra a Figura 12 abaixo gerada para o mês de maio de 2021.

Figura 11 – Gráficos de potência ativa máxima do mês de maio de 2021 por posto horário



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir do gráfico anterior percebe-se que, no horário de ponta, a média de demanda utilizada se aproxima mais das demandas máximas quando comparado

ao posto fora de ponta. Para verificação desta afirmação, traçou-se os gráficos do fator de carga por posto horário conforme mostra a Figura 13.

Figura 12 – Gráficos de fator de carga de maio de 2021 por posto horário



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Nos gráficos anteriores (Figura 13), a linha pontilhada retrata a média dos fatores de carga. É possível observar que no posto horário ponta a média é maior que no posto fora de ponta. Para generalizar esta observação foi construída uma tabela com as médias dos fatores de carga por posto horário para todo o período de análise, mostrada abaixo pela Tabela 10.

Tabela 10 – Fatores de carga médios por posto horário no período

| Fator de Carga Médio | mar/21 | abr/21 | mai/21 | jun/21 | jul/21 | ago/21 | set/21 | out/21 | nov/21 | dez/21 | jan/22 | fev/22 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ponta                | 0,9155 | 0,8393 | 0,8981 | 0,8714 | 0,8992 | 0,8863 | 0,8954 | 0,9057 | 0,9001 | 0,8943 | 0,8950 | 0,8400 |
| Fora de Ponta        | 0,8444 | 0,8264 | 0,8568 | 0,8089 | 0,8590 | 0,8480 | 0,8491 | 0,8630 | 0,8582 | 0,8604 | 0,8644 | 0,7112 |
| Geral                | 0,8406 | 0,8194 | 0,8516 | 0,8069 | 0,8530 | 0,8406 | 0,8469 | 0,8608 | 0,8518 | 0,8578 | 0,8600 | 0,7100 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Em média, o fator de carga do horário de ponta é cerca de 6% superior ao do horário fora de ponta enquanto a tarifa de demanda para o posto ponta é cerca de 2,3

vezes mais cara que a do posto fora de ponta. Neste sentido, a atuação do gerador, com fornecimento médio de 740 kW, nos postos horários ponta e fora de ponta poderia significar uma redução do contrato da demanda e consequentemente o valor da fatura TUSD. A análise destas reduções será apresentada no tópico de viabilidade econômica da operação do gerador.

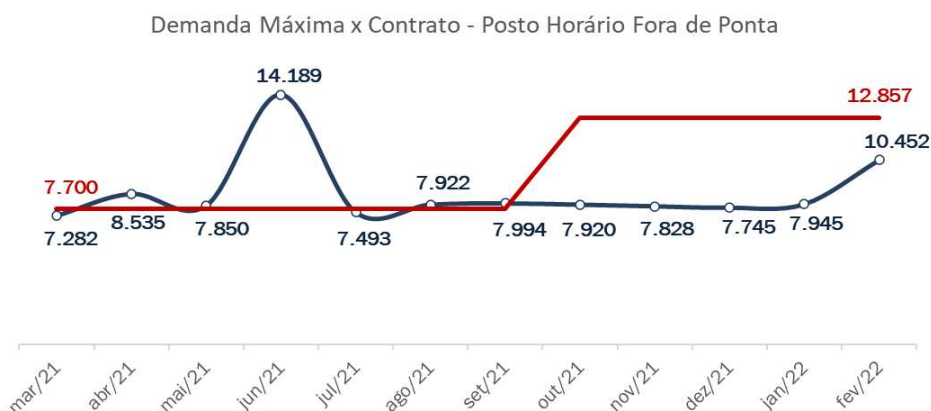
De maneira geral, no entanto, percebe-se que o fator de carga geral da companhia orbita em torno de 0,85 deixando pouca margem para redução de custos através de uma solicitação de redução do contrato de demanda existente junto à concessionária de energia. Isto se torna ainda mais verdade quando se analisa os registros das potências máximas contra o contrato no período de março à setembro de 2021, conforme apresentado pelas Figura 14 e 15, a seguir.

Figura 13 – Gráfico de demanda máxima versus contrato para o posto horário ponta



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 14 – Gráfico de demanda máxima versus contrato para o posto horário fora de ponta



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).



Quando se analisa os meses de outubro de 2021 a fevereiro de 2022 percebe-se o descolamento entre o contrato e as demandas máximas estimadas. Isso ocorre porque a companhia, prevendo a entrada de uma nova máquina de papel em outubro de 2021, solicitou com antecedência o aumento do contrato de demanda. No entanto, um atraso no cronograma do projeto da nova máquina de papel, a MP08, fez com que o início à sua curva de aprendizado do equipamento ocorresse apenas em fevereiro de 2022 quando percebe-se o aumento da demanda máxima estimada da fábrica.

Este fato torna difícil a análise da oportunidade de redução do contrato junto a concessionária a partir de fevereiro de 2022. Portanto, a título da análise de oportunidade a ser apresentada na sequência deste documento, será levado em consideração que o contrato de demanda é aderente à necessidade da Paraibuna estando a oportunidade de redução da demanda concentrada apenas no volume autoproduzido através do gerador.

#### 4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DA OPERAÇÃO DO GERADOR A VAPOR

A análise de viabilidade econômica do gerador a vapor será dividida em duas partes sendo elas referentes aos cálculos de ganhos e perdas com a operação de cogeração.

Primeiro, propõe-se a análise dos ganhos provenientes da operação do gerador. Para tanto, serão utilizadas como base as tarifas dos componentes de encargo e fio bem como o PLD do mês de fevereiro de 2022 (último mês do período analisado). A Tabela 11 seguir resume os valores adotados.

Tabela 11 – Premissas de preços e tarifas para o cálculo de viabilidade

| Premissas Tarifárias                   | Unid.   | Valor   |
|--|---------|---------|
| Tarifa de Encargo TUSD - Ponta         | R\$/kWh | 0,0620  |
| Tarifa de Encargo TUSD - Fora de Ponta | R\$/kWh | 0,0620  |
| Tarifa Fio TUSD - Ponta                | R\$/kW  | 14,4601 |
| Tarifa Fio TUSD - Fora de Ponta        | R\$/kW  | 6,2784  |
| PLD Mensal                             | R\$/MWh | 55,7000 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Com capacidade de geração de 740 kW médios, o equipamento tem capacidade de produção de 532,8 MWh em um mês de 30 dias. Com isto, uma redução de 740 kW nas demandas máximas registradas nos postos ponta e fora de ponta implicariam em uma economia na TUSD de R\$ 81.378,87, conforme apresenta a Tabela 12.

Tabela 12 – Cálculo da economia na TUSD com a operação do gerador

| <b>Análise da Economia com a TUSD</b>            | <b>Unid.</b> | <b>Valor</b>     |
|--|--------------|------------------|
| <b>Posto Horário Ponta</b>                       |              |                  |
| Tarifa Encargo - Ponta                           | R\$/kWh      | 0,0620           |
| Volume Cogeração                                 | kWh          | 532.800          |
| Economia com Encargos - Ponta                    | R\$          | 33.016,18        |
| Tarifa Fio - Ponta                               | R\$/kW       | 14,4601          |
| Demanda Cogeração                                | kW           | 740              |
| Economia Fio - Ponta                             | R\$          | 10.700,46        |
| <b>Economia Ponta</b>                            | <b>R\$</b>   | <b>43.716,64</b> |
| <b>Posto Horário Fora de Ponta</b>               |              |                  |
| Tarifa Encargo - Fora de Ponta                   | R\$/kWh      | 0,0620           |
| Volume Cogeração                                 | kWh          | 532.800          |
| Economia com Encargos - Fora de Ponta            | R\$          | 33.016,18        |
| Tarifa Fio - Fora de Ponta                       | R\$/kW       | 6,2784           |
| Demanda Cogeração                                | kW           | 740              |
| Economia Fio - Fora de Ponta                     | R\$          | 4.646,05         |
| <b>Economia Fora de Ponta</b>                    | <b>R\$</b>   | <b>37.662,23</b> |
| <b>Economia com a TUSD Ponta e Fora de Ponta</b> | <b>R\$</b>   | <b>81.378,87</b> |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Além da economia com a TUSD o fato de cogerar em média cerca de 532.800 kWh mensais significa que a empresa deixaria de comprar este volume no MCP ou ainda que venderia esse mesmo volume no mercado spot. Em ambos os casos, o volume seria precificado com o valor do PLD que, em fevereiro de 2022, havia atingido seu piso de R\$ 55,70 por MWh. A multiplicação direta entre o volume cogeração e o PLD dá a economia na tarifa de energia (TE) da empresa quando da operação do gerador considerando as premissas assumidas. Na tabela 13, abaixo, é apresentado a economia com a tarifa de energia a partir da operação do gerador.

Tabela 13 – Cálculo da economia na Tarifa de Energia com a operação do Gerador

| Análise da Economia com a TE | Unid.      | Valor            |
|------------------------------|------------|------------------|
| Volume Cogeração             | MWh        | 532,8            |
| PLD base                     | R\$/MWh    | 55,70            |
| <b>Economia com a TE</b>     | <b>R\$</b> | <b>29.676,96</b> |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Com isso, tem-se que com a cogeração há a oportunidade mensal de economia com a energia elétrica na casa dos R\$ 111.000.

No entanto, para que se consiga gerar esse volume de energia é necessário o emprego do cavaco para produção do vapor que toca a turbina do gerador. Como apresentado no tópico 3.3 a fábrica tem uma necessidade de consumo de cerca de 20 mil toneladas de vapor por mês. Quando em operação, parte deste fluxo de vapor é perdido no processo de cogeração de energia elétrica. Como não se conhece a relação da perda, propõe-se aqui a criação de três cenários de ineficiência da conversão. No cenário 1, ou pessimista, cerca de 20% do vapor e, portanto, do seu custo seria perdido no processo de conversão. No cenário 2, ou moderado, a perda seria de 15%. Já no cenário 3, ou otimista, a perda seria de 10%.

A definição dos percentuais de ineficiência de cada cenário não obedeceu a critérios preestabelecidos, mas sim uma coerência com relação ao que pode se esperar da eficiência média de uma turbina a vapor.

Para cada tonelada horária de vapor produzido na caldeira são consumidos 1,1 m<sup>3</sup> de cavaco. Portanto, para uma operação de 720 horas, isto é, um mês de 30 dias, são utilizados cerca de 22.300 m<sup>3</sup> de biomassa. Considerando a densidade média do cavaco como 315 kg/m<sup>3</sup> tem-se um consumo médio de pouco mais de 7.000 toneladas por mês. Custando R\$ 224,57 por tonelada em fevereiro de 2022, a conta de combustível para suprimento da produção nominal de papel da fábrica se aproxima de R\$ 1,6 milhão. Abaixo, a Tabela 14 apresenta o quadro resumo dos parâmetros de produção e custeio do vapor.

Tabela 14 – Premissas de custeio e produção de vapor

| Premissas Caldeira Dedini    | Unid.                | Valor        |
|------------------------------|----------------------|--------------|
| Vazão de Vapor               | tv/mês               | 20.267       |
| Consumo Específico de Cavaco | m <sup>3</sup> /tv/h | 1,1          |
| Consumo de Cavaco            | m <sup>3</sup>       | 22.293       |
| Densidade Cavaco             | kg/m <sup>3</sup>    | 315          |
| Consumo de Cavaco            | tc/mês               | 7.022        |
| Custo unitário do Cavaco     | R\$/tc               | 224,57       |
| Custo Total com Cavaco       | R\$                  | 1.577.022,96 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Para o cenário 1, a perda com a cogeração é de 20% do volume de vapor o que significa o não aproveitamento de cerca de 4 mil toneladas de vapor produzido na caldeira. Para a produção deste volume são utilizadas 1.404 toneladas de cavaco de eucalipto com custo de R\$ 315.404,59. Como são produzidos 532,8 MWh pode-se dizer que o custo do MWh da autoprodução é, neste caso, de R\$/MWh 591,98. No cenário 2, considerando uma ineficiência de 15%, o custo da perda do vapor é de R\$ 236.553,44 com o MWh custando R\$/MWh 443,98. Já no cenário otimista, o custo total da perda é de R\$ 157.702,30 com custo da cogeração de R\$/MWh 295,99.

Para análise econômica do exercício mensal da operação do gerador, criou-se uma planilha Excel que compila as principais premissas de custeio com a qual é possível verificar os ganhos e perdas, custo do MWh coggerado para cada cenário de ineficiência de conversão energética. Esta ferramenta permite a rápida alteração das premissas adotadas facilitando a tomada de decisão. A seguir, nas figuras 16, 17 e 18, apresenta-se os resultados das análises de viabilidade econômica para os cenários, 1, 2 e 3.

Figura 15 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 1)

|   |        |           |  |         |              |
|---|--------|-----------|--|---------|--------------|
| PREMISSAS   |        |           | Energia Cogorada                             |         |              |
| COGERAÇÃO   | 0,74   | MWm       | Unid.  | Valor   |              |
| CONSUMO DE CAVACO   | 1,10   | [m³/t*h]  | Demanda Cogorada                             | MWm     | 0,74         |
| *Consumo de cavaco por tonelada de vapor produzido  |        |           | Período                                      | dias    | 30           |
| INEFICIÊNCIA DA CONVERSÃO   | 20%    |           | Volume Cogorado                              | MWh     | 532,80       |
| *Premissa de Ineficiência da Dedine   |        |           | Oportunidade Energia                         |         |              |
| PREMISSAS DE MERCADO  |        |           | Unid.  |         |              |
| PREÇO DO EXCEDENTE  | 55,67  | [R\$/MWh] | Valor  |         |              |
| *digite a premissa de preço de venda da energia excedente   |        |           | Economia com a TE                            | R\$     | 29.660,98    |
| PREÇO DO CAVACO   | 224,57 | [R\$/t]   | Economia com a TE                            | R\$     | 29.660,98    |
| *digite a premissa de preço do cavaco   |        |           | Oportunidade TUSD                            |         |              |
| BREAK EVEN POINT DA COGERAÇÃO   |        |           | Unid.  |         |              |
| Qual deve ser o preço de venda da energia para a partir do qual ocorre a viabilidade da operação? |        |           | Valor  |         |              |
| BREAK EVEN COGERAÇÃO  | 439,24 | [R\$/MWh] | Economia com Encargos                        | R\$     | 66.032,37    |
|   |        |           | Economia Fio                                 | R\$     | 15.346,50    |
|   |        |           | Economia com a TUSD                          | R\$     | 81.378,87    |
|   |        |           | Economia Total TUSD + TE                     | R\$     | 111.039,85   |
|   |        |           | Análise Econômica - 0,74 MW médios Cogorados |         |              |
|   |        |           | Ganhos da Cogeração                          | R\$     | 111.040      |
|   |        |           | Economia TE                                  | R\$     | 29.661       |
|   |        |           | Economia TUSD                                | R\$     | 81.379       |
|   |        |           | Perdas                                       | R\$     | 315.405      |
|   |        |           | Custo do Vapor                               | R\$     | 315.404,59   |
|   |        |           | Fluxo Econômico                              | R\$     | - 204.364,75 |
|   |        |           | Custo do MWh cogorado                        | R\$/MWh | 591,98       |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 16 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 2)

|   |        |           |  |         |             |
|---|--------|-----------|--|---------|-------------|
| PREMISSAS   |        |           | Energia Cogorada                             |         |             |
| COGERAÇÃO   | 0,74   | MWm       | Unid.  | Valor   |             |
| CONSUMO DE CAVACO   | 1,10   | [m³/t*h]  | Demanda Cogorada                             | MWm     | 0,74        |
| *Consumo de cavaco por tonelada de vapor produzido  |        |           | Período                                      | dias    | 30          |
| INEFICIÊNCIA DA CONVERSÃO   | 15%    |           | Volume Cogorado                              | MWh     | 532,80      |
| *Premissa de Ineficiência da Dedine   |        |           | Oportunidade Energia                         |         |             |
| PREMISSAS DE MERCADO  |        |           | Unid.  |         |             |
| PREÇO DO EXCEDENTE  | 55,67  | [R\$/MWh] | Valor  |         |             |
| *digite a premissa de preço de venda da energia excedente   |        |           | Economia com a TE                            | R\$     | 29.660,98   |
| PREÇO DO CAVACO   | 224,57 | [R\$/t]   | Economia com a TE                            | R\$     | 29.660,98   |
| *digite a premissa de preço do cavaco   |        |           | Oportunidade TUSD                            |         |             |
| BREAK EVEN POINT DA COGERAÇÃO   |        |           | Unid.  |         |             |
| Qual deve ser o preço de venda da energia para a partir do qual ocorre a viabilidade da operação? |        |           | Valor  |         |             |
| BREAK EVEN COGERAÇÃO  | 291,24 | [R\$/MWh] | Economia com Encargos                        | R\$     | 66.032,37   |
|   |        |           | Economia Fio                                 | R\$     | 15.346,50   |
|   |        |           | Economia com a TUSD                          | R\$     | 81.378,87   |
|   |        |           | Economia Total TUSD + TE                     | R\$     | 111.039,85  |
|   |        |           | Análise Econômica - 0,74 MW médios Cogorados |         |             |
|   |        |           | Ganhos da Cogeração                          | R\$     | 111.039,85  |
|   |        |           | Economia TE                                  | R\$     | 29.660,98   |
|   |        |           | Economia TUSD                                | R\$     | 81.378,87   |
|   |        |           | Perdas                                       | R\$     | 236.553,44  |
|   |        |           | Custo do Vapor                               | R\$     | 236.553,44  |
|   |        |           | Fluxo Econômico                              | R\$     | -125.513,60 |
|   |        |           | Custo do MWh cogorado                        | R\$/MWh | 443,98      |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 17 – Análise de viabilidade econômica da operação do gerador (cenário 3)

| PREMISSAS   |                                     |           |
|---|-------------------------------------|-----------|
| <b>COGERAÇÃO</b>  | <input type="text" value="0,74"/>   | MWm       |
| <b>CONSUMO DE CAVACO</b>  | <input type="text" value="1,10"/>   | [m³/t*h]  |
| <small>*Consumo de cavaco por tonelada de vapor produzido</small>                                 |                                     |           |
| <b>INEFICIÊNCIA DA CONVERSÃO</b>  | <input type="text" value="10%"/>    |           |
| <small>*Premissa de Ineficiência da Dedine</small>  |                                     |           |
| PREMISSAS DE MERCADO  |                                     |           |
| <b>PREÇO DO EXCEDENTE</b>   | <input type="text" value="55,67"/>  | [R\$/MWh] |
| <small>*digite a premissa de preço de venda da energia excedente</small>                          |                                     |           |
| <b>PREÇO DO CAVACO</b>  | <input type="text" value="224,57"/> | [R\$/t]   |
| <small>*digite a premissa de preço do cavaco</small>  |                                     |           |
| BREAK EVEN POINT DA COGERAÇÃO   |                                     |           |
| Qual deve ser o preço de venda da energia para a partir do qual ocorre a viabilidade da operação? |                                     |           |
| <b>BREAK EVEN COGERAÇÃO</b>   | <input type="text" value="143,25"/> | [R\$/MWh] |

| Energia Cogzada       | Unid.      | Valor         |
|-----------------------|------------|---------------|
| Demanda Cogzada       | MWm        | 0,74          |
| Período               | dias       | 30            |
| <b>Volume Cogzado</b> | <b>MWh</b> | <b>532,80</b> |

| Oportunidade Energia     | Unid.      | Valor            |
|--------------------------|------------|------------------|
| Economia com a TE        | R\$        | 29.660,98        |
| <b>Economia com a TE</b> | <b>R\$</b> | <b>29.660,98</b> |

| Oportunidade TUSD               | Unid.      | Valor             |
|---------------------------------|------------|-------------------|
| Economia com Encargos           | R\$        | 66.032,37         |
| Economia Fio                    | R\$        | 15.346,50         |
| <b>Economia com a TUSD</b>      | <b>R\$</b> | <b>81.378,87</b>  |
| <b>Economia Total TUSD + TE</b> | <b>R\$</b> | <b>111.039,85</b> |

| Análise Econômica - 0,74 MW médios Cogzados |                |                   |
|---|----------------|-------------------|
| <b>Ganhos da Cogeração</b>                  | <b>R\$</b>     | <b>111.039,85</b> |
| Economia TE                                 | R\$            | 29.660,98         |
| Economia TUSD                               | R\$            | 81.378,87         |
| <b>Perdas</b>                               | <b>R\$</b>     | <b>157.702,30</b> |
| Custo do Vapor                              | R\$            | 157.702,30        |
| <b>Fluxo Econômico</b>                      | <b>R\$</b>     | <b>-46.662,45</b> |
| <b>Custo do MWh cogzado</b>                 | <b>R\$/MWh</b> | <b>295,99</b>     |

Fonte: Elaborada pelo Autor (2024).

#### 4.3 ANÁLISE DO PONTO DE EQUILÍBRIO DA COGERAÇÃO

Conforme apresentado no tópico anterior, em nenhum dos cenários projetados o fluxo econômico é positivo, indicando que a decisão corporativa de interrupção da operação do gerador foi acertada. No entanto, qual deve ser o preço da energia no mercado Spot para que o fluxo econômico seja zero? Em outras palavras, a partir de qual preço a empresa já começa a ter ganhos com a cogeração podendo retomar a operação do gerador?

Apresenta-se a seguir, nas figuras 19, 20 e 21, os preços da energia no mercado de curto prazo para viabilizar economicamente a operação do gerador em cada um dos cenários propostos.



Figura 18 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 1)



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 19 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 2)



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 20 – Ponto de equilíbrio da cogeração (cenário 3)

| PREMISSAS   |                                     |           |
|---|-------------------------------------|-----------|
| COGERAÇÃO   | <input type="text" value="0,74"/>   | MWm       |
| CONSUMO DE CAVACO   | <input type="text" value="1,10"/>   | [m³/t*h]  |
| <small>*Consumo de cavaco por tonelada de vapor produzido</small>                                 |                                     |           |
| INEFICIÊNCIA DA CONVERSÃO   | <input type="text" value="10%"/>    |           |
| <small>*Premissa de Ineficiência da Dedine</small>  |                                     |           |
| PREMISSAS DE MERCADO  |                                     |           |
| PREÇO DO EXCEDENTE  | <input type="text" value="143,25"/> | [R\$/MWh] |
| <small>*digite a premissa de preço de venda da energia excedente</small>                          |                                     |           |
| PREÇO DO CAVACO   | <input type="text" value="224,57"/> | [R\$/t]   |
| <small>*digite a premissa de preço do cavaco</small>  |                                     |           |
| BREAK EVEN POINT DA COGERAÇÃO   |                                     |           |
| Qual deve ser o preço de venda da energia para a partir do qual ocorre a viabilidade da operação? |                                     |           |
| BREAK EVEN COGERAÇÃO  | <input type="text" value="143,25"/> | [R\$/MWh] |

| Energia Cogorada       | Unid.      | Valor         |
|------------------------|------------|---------------|
| Demanda Cogorada       | MWm        | 0,74          |
| Período                | dias       | 30            |
| <b>Volume Cogorado</b> | <b>MWh</b> | <b>532,80</b> |

| Oportunidade Energia     | Unid.      | Valor            |
|--------------------------|------------|------------------|
| Economia com a TE        | R\$        | 76.323,43        |
| <b>Economia com a TE</b> | <b>R\$</b> | <b>76.323,43</b> |

| Oportunidade TUSD               | Unid.      | Valor             |
|---------------------------------|------------|-------------------|
| Economia com Encargos           | R\$        | 66.032,37         |
| Economia Fio                    | R\$        | 15.346,50         |
| <b>Economia com a TUSD</b>      | <b>R\$</b> | <b>81.378,87</b>  |
| <b>Economia Total TUSD + TE</b> | <b>R\$</b> | <b>157.702,30</b> |

| Análise Econômica - 0,74 MW médios Cogorados |                |                   |
|--|----------------|-------------------|
| <b>Ganhos da Cogeração</b>                   | <b>R\$</b>     | <b>157.702,30</b> |
| Economia TE                                  | R\$            | 76.323,43         |
| Economia TUSD                                | R\$            | 81.378,87         |
| <b>Perdas</b>                                | <b>R\$</b>     | <b>157.702,30</b> |
| Custo do Vapor                               | R\$            | 157.702,30        |
| <b>Fluxo Econômico</b>                       | <b>R\$</b>     | <b>0,00</b>       |
| <b>Custo do MWh cogorado</b>                 | <b>R\$/MWh</b> | <b>295,99</b>     |

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

No cenário mais pessimista (cenário 1) apresentado na figura 19, o valor da energia no mercado de curto prazo para que o fluxo econômico da operação de cogeração seja zero é de R\$/MWh 439,24 sendo o maior entre os três cenários apresentados. Isto ocorre porque, neste caso, uma maior ineficiência da turbina implica em uma maior quantidade de vapor utilizada para cogeração e, por consequência, maior quantidade de combustível queimado para autoprodução de energia elétrica. Logo, como a operação do gerador torna-se mais cara, maior deverá ser o preço da energia elétrica no MCP para compensar este aumento.



## 5 CONCLUSÃO

Por mais que não tenham sido observadas nas análises outros aspectos impactados pela operação do gerador, como por exemplo a melhoria no fator de potência e consequente redução de multas devido ao componente reativo da energia, ou mesmo a aferição das perdas de vapor na cogeração para exata determinação do fator de ineficiência da turbina - senão a variável de maior impacto do problema - percebe-se, mesmo no cenário mais otimista, que o fluxo econômico é relevantemente negativo.

Portanto, retomado o contexto pelo qual passava a empresa em fevereiro de 2022, com queda do preço da energia elétrica no mercado livre, expectativa de startup da nova máquina de papel, enfrentamento de adversidades no processo de produção de vapor de sua principal caldeira e alta do preço da biomassa, vemos que, dado a conjuntura das variáveis, a empresa tomou uma decisão coerente.

Não obstante, iniciativas de eficiência energética principalmente relacionadas a fontes alternativas como a biomassa são importantes na composição da matriz energética nacional e vem ganhando protagonismo nos últimos anos. Por isso, o aumento do volume cogerado através de um *retrofit* ou investimento em um gerador mais moderno e eficiente poderia ressignificar o estudo apresentado, muito embora, neste caso, deva ser avaliado a análise do retorno não apenas econômico, mas financeiro para determinação de indicadores como valor presente líquido do investimento e tempo de retorno.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

Mesmo convergindo para a mesma decisão pela qual optaram os executivos da Paraibuna em 2022, a ferramenta construída no decorrer deste trabalho se mostra valiosa quanto a análise das variáveis econômicas relativas à cogeração, podendo, a empresa, utilizá-la para tomada de decisões futuras sobre o tema.

Neste ensejo, ficam aqui indicadas melhorias a serem exploradas em trabalhos futuros para aumento da complexidade e precisão das análises tais como a análise do fator de potência com e sem gerador visto que esta máquina tem como uma de suas características a “absorção de reativos” quando em operação acarretando em possível redução de multas por fator de potência baixo. Além disso, a avaliação do ciclo de combustão da caldeira para estudo de melhoria de eficiência de combustão do cavaco bem como a relevância do fator de umidade do cavaco para essa eficiência. Este último, permitiria ao estudo ajudar a definir políticas de descontos financeiros aos fornecedores de cavaco de acordo com o índice de umidade, uma vez que uma maior massa de água presente na biomassa implica diretamente em uma maior ineficiência da queima do combustível.

No que tange à cogeração, deixa-se como sugestão, também, de estudos futuros, a análise da viabilidade econômico-financeira da expansão da capacidade de cogeração, no sentido de verificar se o aumento da capacidade de geração deslocaria o *breakeven point* de lugar e em quanto tempo o investimento se pagaria.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, Pedro Paulo Zahluth. A construção do nacional-desenvolvimentismo de Getúlio Vargas e a dinâmica de interação entre Estado e mercado nos setores de base. **Revista Economia**, v. 7, n. 4, p. 239-275, 2006.

BERTÓ, Dalvio José; BEULKE, Rolando. **Gestão de custos**. Saraiva Educação SA, 2017.

CAMPANARO, Gastão Estêvão. A história da indústria de celulose e papel no Brasil. **São Paulo: Tempo e Memória**, 2004.

CAMPOS, Edison da Silva; FOELKEL, Celso. **A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil**. São Paulo: Abtcp – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas SA, 2002.

GOMES, José Maria. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros**. Editora Atlas SA, 2000.

FARDIM, Pedro. Papel e química de superfície: Parte II–revestimento e printabilidade. **O papel (2002)**: 75-83.

MANKIW, N. Gregory; MONTEIRO, Maria José Cyhlar. **Introdução à economia: princípios de micro e macroeconomia**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

MARTIN, Caroline. Indústria de celulose e papel demonstra resiliência em meio a cenário adverso. **Revista O papel**. [S. l.], p. 46-55, mar. 2022. Disponível em: [http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1648055813\\_bd6b0e4172445e5be12a0d5aacaba803\\_1350368741.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1648055813_bd6b0e4172445e5be12a0d5aacaba803_1350368741.pdf). Acesso em: 16 mai. 2024.

MARTINS, Eliseu; ROCHA, Welington. **Contabilidade de custos**. Vol. 9. São Paulo: Atlas, 2003.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA. Conceitos. **Mercado Livre de Energia Elétrica**. [S. l.], [S. l.]. Disponível em: [www.mercadolivredeenergia.com.br/consumidores-livres-e-especiais/conceito/](http://www.mercadolivredeenergia.com.br/consumidores-livres-e-especiais/conceito/). Acesso em: 23 mai. 2024.

PIOTTO, Zeila Chittolina; MORITA, Dione Mari. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel**: estudo de caso. 2003.

RAIMUNDINI, Simone Leticia; BIANCHI, Márcia; ZUCATTO, Luis Carlos. **Ponto de equilíbrio e otimização sob a perspectiva da matemática**. Enfoque: Reflexão Contábil 27.2 (2008): 39-55.

REDAÇÃO CANAL RURAL. Veja como as indústrias de papel e celulose se reinventam durante a pandemia. **Canal Rural**. [S. I.], 12 jan. 2002. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/entretenimento/canal-rural-play/industrias-de-papel-e-celulose-se-reinventam-durante-a-pandemia/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

RIBEIRO, Gabriel Browne de Deus. **Análise técnica e econômica da produção de energia termelétrica a partir da biomassa florestal**. 2018. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

RIBEIRO, Osni Moura. **Contabilidade de custos**. Saraiva Educação SA, 1996.

SOUZA, Zebedeu Fernandes de. **A importância da reação da demanda na formação dos preços de curto prazo em mercados de energia elétrica**. Dissertação. Universidade de São Paulo, 2010.

CCEE. **Conceitos de Preço**. CCEE. São Paulo, [S. I.] 2024?. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/precos/conceitos-preco>

## APÊNDICE A – DASHBOARD DE GESTÃO DE ENERGIA

