

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

BRUNO HENRIQUE NUNES

**FERRAMENTA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE PRODUTIVA MENSAL DE UMA
FÁBRICA DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO**

**Ilha Solteira
2024**

BRUNO HENRIQUE NUNES

**FERRAMENTA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE PRODUTIVA MENSAL DE UMA
FÁBRICA DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO**

Trabalho de graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro eletricista.

Prof. Dr. Carlos Antonio Alves

Orientador

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N972f Nunes, Bruno Henrique.
Ferramenta para cálculo da capacidade produtiva mensal de uma fábrica de disjuntores de alta tensão / Bruno Henrique Nunes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

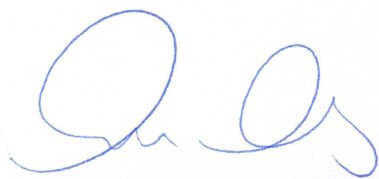
Orientador: Carlos Antônio Alves

Inclui bibliografia

1. Capacidade produtiva. 2. Planejamento e controle da produção. 3.
Dashboard.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

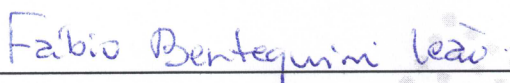
Aos três dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e quatro, o discente **Bruno Henrique Nunes**, matriculado sob o nº 162055099, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves, o Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão e o Prof. Dr. Jonatas Boas Leite, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**FERRAMENTA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE PRODUTIVA MENSAL DE UMA FÁBRICA DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO**", obtendo a nota 8,5 (oito virgula cinco) e conceito **APROVADO**.



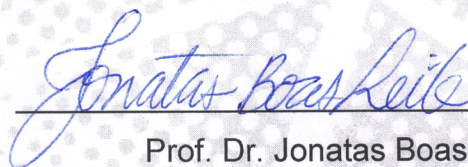
Prof. Dr. Carlos Antonio Alves
- Orientador -



Bruno Henrique Nunes
- Discente -



Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão
- Membro da Banca -



Prof. Dr. Jonatas Boas Leite
- Membro da Banca -

DEDICO

À meu pai Gilson Roberto Nunes e a minha mãe
Fernanda R. G. Marques Nunes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo suporte que recebi de toda minha família e principalmente de meu pai e minha mãe durante toda a vida até aqui, o que possibilitou que eu chegasse até este momento. Agradeço também a todo apoio que recebi, dentro e fora do cenário acadêmico, da minha noiva desde 2017 até aqui.

Meu muito obrigado a todos os amigos de Ilha Solteira que fizeram parte do meu dia a dia por todos esses anos. E claro, agradeço aos amigos da República Kilombo que estiveram comigo e compartilharam momentos bons e ruins durante essa grande fase da minha vida, uma das melhores até aqui.

Ao meu professor e orientador, Carlos Antônio Alves, por contribuir com minha formação acadêmica e por todo auxílio prestado durante a execução deste trabalho de graduação.

A todo grupo Siemens Energy, por toda informação compartilhada comigo, possibilitando a criação da ferramenta proposta neste trabalho de graduação.

RESUMO

Diante de um cenário de expansão de subestações elétricas no Brasil, a demanda por equipamentos elétricos tende a crescer, criando um ambiente favorável para os fornecedores desses componentes. Para capitalizar essa oportunidade, é crucial que as indústrias realizem uma gestão eficiente de produção e planejamento de capacidade produtiva, considerando as limitações físicas e tecnológicas. Para que essa gestão de produção se faça adequada, é importante que a capacidade fabril de produção instalada seja compatível com a demanda esperada pelos clientes. Um desafio identificado é a ausência de ferramentas para auxiliar no cálculo da capacidade produtiva quando se trata de uma fábrica com um grande mix de produtos e que não são seriados, que levam em conta fatores como disponibilidade de mão-de-obra, horas de produção e horas de máquinas. Neste contexto, esse trabalho se trata do desenvolvimento de uma ferramenta em Excel para planejar a capacidade produtiva de uma fábrica de disjuntores de alta tensão da Siemens Energy, considerando a demanda de produção crescente. A ferramenta proposta permite comparar a mão-de-obra disponível com a necessária para atender à demanda mensal, auxiliando na tomada de decisões estratégicas relacionadas à gestão de pessoal e limitações de produção.

Palavras-chave: Capacidade produtiva, Planejamento e Controle da Produção, Dashboard.

ABSTRACT

With the expansion of electrical substations in Brazil, the demand for high-voltage electrical equipment is on the rise, creating a promising scenario for suppliers of these components. To capitalize on this opportunity, it is essential for industries to implement efficient production management and capacity planning, taking into account physical and technological limitations. For this production management to be effective, it is crucial that the installed production capacity in factories aligns with the expected customer demand. However, a challenge identified is the lack of tools to assist in calculating productive capacity in factories with a large mix of non-serialized products, considering factors such as labor availability, production hours, and machine hours. In this context, this work proposes the development of an Excel tool to plan the productive capacity of a high-voltage circuit breaker factory at Siemens Energy, considering the growing production demand. The proposed tool allows for comparing the available labor with the necessary labor to meet the monthly demand, aiding in strategic decision-making related to personnel management and production limitations.

Keywords: Production Capacity, Production Planning and Control, Dashboard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Previsão de investimentos no sistema de transmissão no Brasil.....	13
Figura 2 – Previsão de evolução física de subestações no próximo decênio.....	14
Figura 3 – Principais equipamentos de uma subestação de alta tensão.....	15
Figura 4 – Exemplo de chave seccionadora de alta tensão.....	16
Figura 5 – Transformador de alta tensão.....	17
Figura 6 – Reatores de alta tensão em uma subestação.....	18
Figura 7 – Modelo de disjuntor de alta tensão a gás SF ₆	19
Figura 8 – Gráfico representativo “demanda x capacidade”.....	21
Figura 9 – Capacidade de produção por setor (A, B, C, D e E).....	22
Figura 10 – Dashboard com informações de capacidade fabril.....	26
Figura 11 – Modelo de roteiro de produção para disjuntores de alta tensão.....	27
Figura 12 – Dados primários da ferramenta de cálculo de capacidade.....	30
Figura 13 – Adaptação do roteiro de produção.....	30
Figura 14 – Dashboard comparativo das capacidades instalada e planejada.....	34
Figura 15 – Capacidade instalada versus capacidade planejada.....	35
Figura 16 – Início da visualização da ferramenta de cálculo de capacidade.....	37
Figura 17 – Colaboradores disponíveis e necessários por centro de trabalho.....	38
Figura 18 – Visualização da ferramenta finalizada.....	40
Figura 19 – Primeira simulação.....	42
Figura 20 – Segunda simulação.....	44
Figura 21 – Terceira simulação.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Mão de obra disponível por centro de trabalho.....	27
Tabela 2 – Relação de custo (hora homem) por centro de trabalho.....	28
Tabela 3 – Modelo de dias úteis para cada mês.....	29
Tabela 4 – Capacidade instalada por centro de trabalho.....	31
Tabela 5 – Comparação entre capacidade disponível e capacidade planejada.....	32
Tabela 6 – Comparação entre capacidade planejada e disponível.....	33
Tabela 7 – Custos planejados e instalados.....	36
Tabela 8 – Mix de produção sem preenchimento do usuário.....	38
Tabela 9 – Mix de produção preenchido pelo usuário.....	39
Tabela 10 – Entrada de dados para a primeira simulação.....	41
Tabela 11 – Entrada de dados para a segunda simulação.....	43
Tabela 12 – Entrada de dados para a terceira simulação.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS

CT	Centro de Trabalho
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
PCP	Planejamento e controle da produção
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
SF6	Hexafluoreto de enxofre
TOC	Theory of Constraints
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1. A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	12
1.1 Subestações e seus equipamentos	14
1.2 O disjuntor de alta tensão.....	18
2. CAPACIDADE PRODUTIVA	21
2.1 Cálculo de capacidade produtiva	22
2.2 Restrições de produção para manufatura.....	23
2.3 Proposta de modelo de projeto.....	23
2.4 Características da produção estudada.....	24
2.5 Problemas enfrentados pelo PCP	25
2.6 Sistema proposto	25
2.7 Mapeamento de dados base para criação da ferramenta proposta.	26
2.8 Desenvolvimento da ferramenta para cálculo de capacidade produtiva.....	29
3. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E RESULTADOS	41
4. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1. A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A energia elétrica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social do Brasil. Como um dos principais motores da infraestrutura nacional, a eletricidade é essencial para o funcionamento de indústrias, serviços, e residências, além de ser um elemento crucial para a inovação tecnológica e a melhoria da qualidade de vida da população.

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade de recursos naturais, possui um potencial significativo para a geração de energia elétrica a partir de diferentes fontes, como hidrelétricas, eólicas, solares e biomassa. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2024), o Brasil possui a sétima maior capacidade instalada de energia elétrica no mundo, com capacidade de 206 GW (gigawatt) no ano de 2022, apresentando uma expansão de 8,3% em relação ao ano anterior. O consumo de energia elétrica no Brasil, também representa o sétimo maior no cenário mundial, com valor de 586 TWh (Terawatt-hora) em 2022, com aumento de 2,3% comparado com o ano anterior.

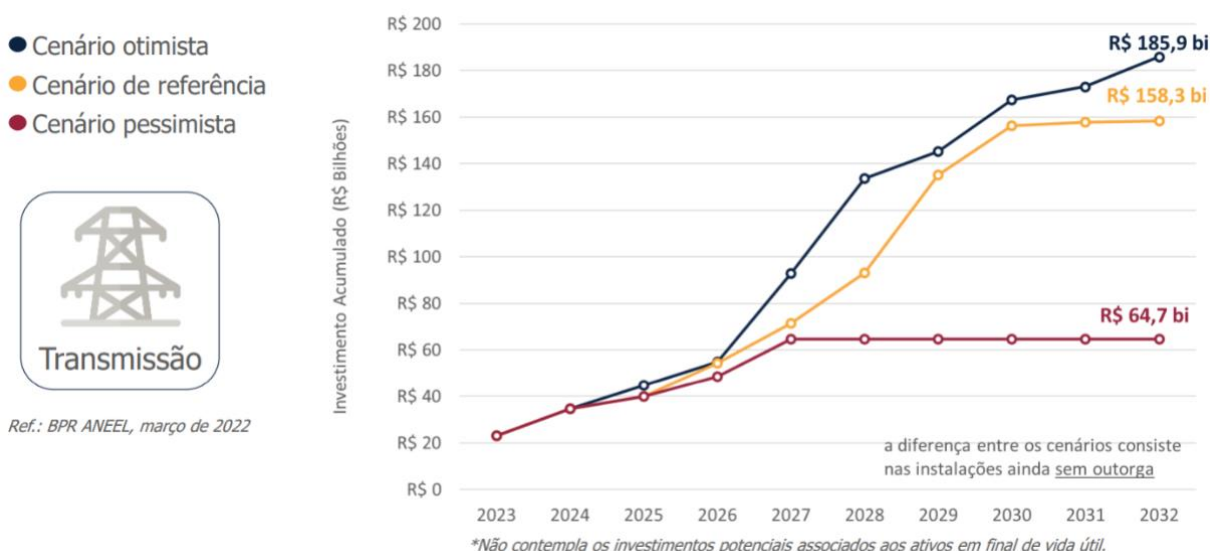
Nesse contexto, nota-se que o setor de energia elétrica no Brasil está em uma crescente significativa nos últimos anos, gerando uma maior necessidade em todo o sistema de geração e transmissão de energia elétrica. Em um país de dimensões continentais, como o Brasil, esse sistema de geração e transmissão depende de um número elevado de subestações de alta tensão.

Atualmente, existem 772 subestações em operação no Brasil, com a maioria delas localizada nas regiões sudeste e sul. No entanto, os Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 indicam um movimento de expansão do sistema de transmissão, com grandes expansões previstas nas regiões norte e nordeste. Essa expansão é crucial para garantir a confiabilidade e a eficiência do fornecimento de energia elétrica em todo o país.

A grandeza dessa expansão no país pode ser ilustrada pela Figura 1, onde são indicadas as previsões de investimento a partir de 2023 sob três cenários diferentes. No cenário otimista, o investimento em subestações deve atingir mais de 185 bilhões de reais em 2032. Já considerando o cenário pessimista, de menor investimento, é estimado um

investimento cerca de 65 bilhões de reais, estabilizando-se entre os anos de 2027 até 2032.

Figura 1 – Previsão de investimentos no sistema de transmissão no Brasil

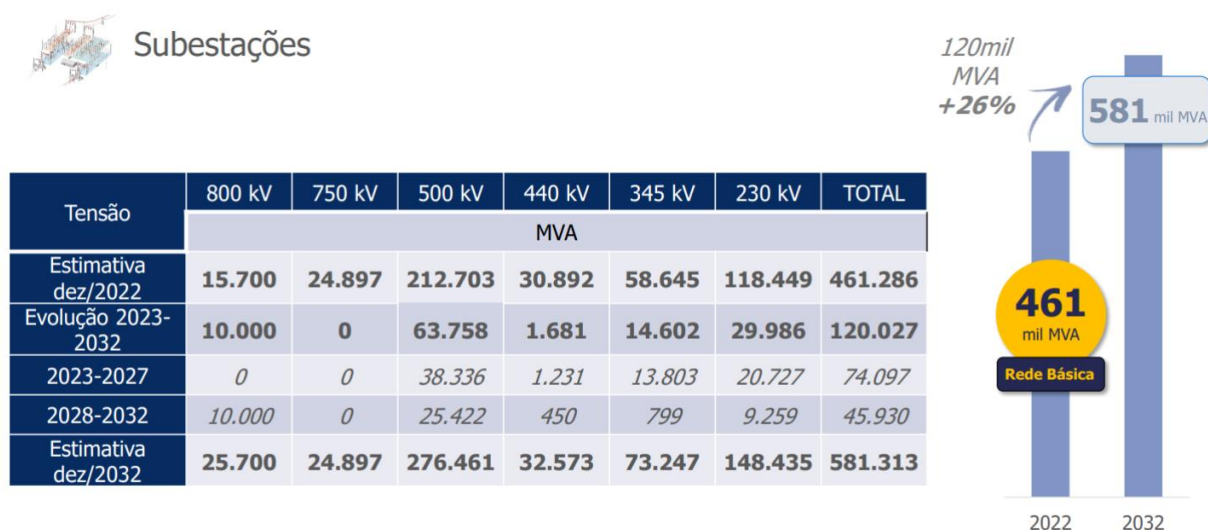


Fonte: Adaptado de PDE (2023)

Além disso, de acordo com o Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), levando-se em consideração os diversos cenários elaborados pela EPE (2007), torna-se possível estimar o consumo de energia elétrica brasileira até 2030. Tomando por base o cenário denominado por “surfando a marola” como referência, o consumo final de energia elétrica no Brasil atingirá o valor de 1.047 TWh em 2030, isso representa um aumento muito significativo em relação aos 481,3 TWh registrados em 2011, correspondendo a um crescimento de 217% no consumo.

Para atender esse aumento do consumo de energia elétrica no Brasil, faz-se necessário aumentar, além das próprias linhas de transmissão, a capacidade de subestações já existentes, bem como a criação de novas unidades. Deste modo, estima-se que a evolução física de subestações, tal qual é evidenciado pela previsão da evolução de subestações da Figura 2, seja de aproximadamente 26%, ou seja, 120 GVA, saindo de 461 GVA e atingindo 581 GVA até o ano de 2032.

Figura 2 – Previsão de evolução física de subestações no próximo decênio



**Os valores em MVA apresentados são associados à capacidade instalada nominal dos transformadores referenciados ao lado de alta dos equipamentos.*

Fonte: Adaptado de PDE (2023)

Atendendo ao aumento físico, como esperado pelo PDE (2023), as subestações tendem a aumentar ainda mais a sua capacidade instalada de geração de energia elétrica, o que por consequência, aumenta a necessidade por equipamentos de pátio.

1.1 Subestações e seus equipamentos

As subestações podem ser classificadas em diversos modelos, dependendo do nível de tensão (baixa tensão, média tensão, alta tensão e extra alta tensão), da relação entre as tensões de entrada e saída (abaixadora, manobra e elevadora) e da função ao sistema elétrico global ao qual essa subestação está inserida (transmissão, distribuição ou subtransmissão).

Tratando-se especificamente de subestações de alta e extra alta tensão de distribuição, essas são instalações compostas por uma série de equipamentos elétricos, como reatores, chave seccionadoras, disjuntores de alta tensão, transformadores de tensão e corrente, para-raios etc., trabalhando simultaneamente para garantir o bom fornecimento e distribuição de energia elétrica, como pode-se ver na Figura 3, exemplificando os principais equipamentos de uma subestação.

Figura 3 – Principais equipamentos de uma subestação de alta tensão



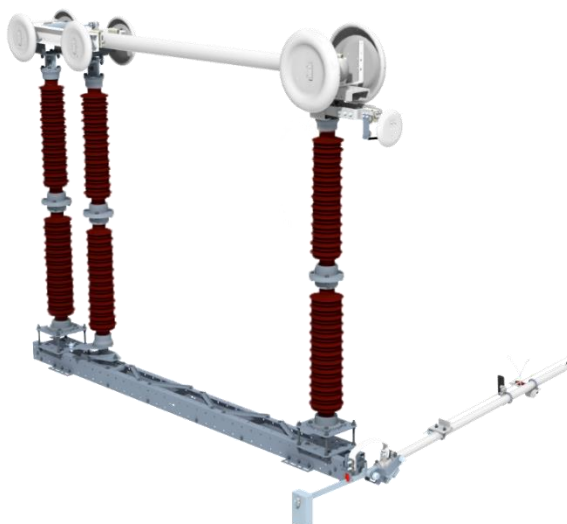
Fonte: Siemens Energy (2020)

A quantidade de equipamentos que compõem uma subestação e sua disposição dentro de um sistema, variam de acordo com cada tipo de subestação, principalmente em relação a função e nível de tensão da subestação.

Cada um desses equipamentos elétricos possui uma função característica específica, podendo ser uma função de manobra (chaves-seccionadora), proteção (disjuntores de alta tensão e para-raios), transformação de energia (transformador de tensão, potência e transformador de corrente) e limitação (reatores/coils).

As chaves-seccionadoras, segundo Mamede (2021), são equipamentos que garantem o isolamento entre dois pontos distintos do sistema elétrico quando seus contatos (fixo e móvel) se encontram na posição “aberto” e garante a passagem de energia elétrica em caso de os contatos estarem na posição “fechado”. Demonstrando um funcionamento similar ao de um interruptor residencial, seccionando apenas uma pequena parte de todo circuito em que se encontra, na Figura 4, tem-se um modelo de chave seccionadora de alta tensão.

Figura 4 – Exemplo de chave seccionadora de alta tensão



Fonte: Adaptado de Portifólio DS SIEMENS ENERGY, 2023

Este equipamento não possui características de proteção, sendo utilizado apenas para isolar outros equipamentos e/ou setores de uma subestação, para a realização de manutenções corretivas e preventivas, testes em campo ou para curto circuitar algum equipamento, chamado *by-pass*.

O transformador de potência é o equipamento que transforma a energia elétrica dentro de um sistema, sempre apresentando uma variação (coeficiente de transformação K) entre a tensão de entrada e a tensão de saída, devido a elevação ou abaixamento da tensão do sistema elétrico. De modo geral, são utilizados como uma forma de evitar perdas de energia ao longo de percursos entre sistemas de energia e linhas de transmissão. Na Figura 5 pode-se visualizar um modelo de transformador de alta tensão.

Figura 5 – Transformador de alta tensão



Fonte: Siemens Energy produtos e serviços

Em uma subestação, os transformadores são os equipamentos mais robustos e de maior tamanho, isso se deve a sua estrutura de bobinagem e isolamento, podendo ser isolado de duas maneiras mais usuais, a óleo ou a seco.

Os reatores (comumente com núcleos a ar), são equipamentos complexos com aplicações variadas, possui caráter indutivo com características semelhantes a uma impedância reativa. Suas funções, quando inseridos em uma subestação, podem ser limitar as correntes de curto-circuito do sistema elétrico, promover aterramento de neutro e, os mais comuns, realizar filtragem de harmônicas e corrigir o fator de potência do sistema de modo geral.

A Figura 6, apresenta 3 reatores isolados a ar, em funcionamento, em uma subestação de alta tensão.

Figura 6 – Reatores de alta tensão em uma subestação



Fonte: Trench Group – Air core coils

O modelo de reator a ser utilizado em uma subestação, depende muito da forma como ele vai ser ligado aos demais equipamentos, podendo ser conectado em série ou em paralelo, de acordo com a função que se espera do reator a ser utilizado.

O disjuntor de alta tensão é um equipamento de proteção que tem a função de interromper e extinguir arcos voltaicos durante a abertura do circuito e são fabricados para atuar no menor tempo possível, operando em condições normais e anormais de corrente e de tensão.

Os disjuntores de alta tensão terão maior ênfase neste trabalho, sendo explicados mais a fundo no subcapítulo abaixo.

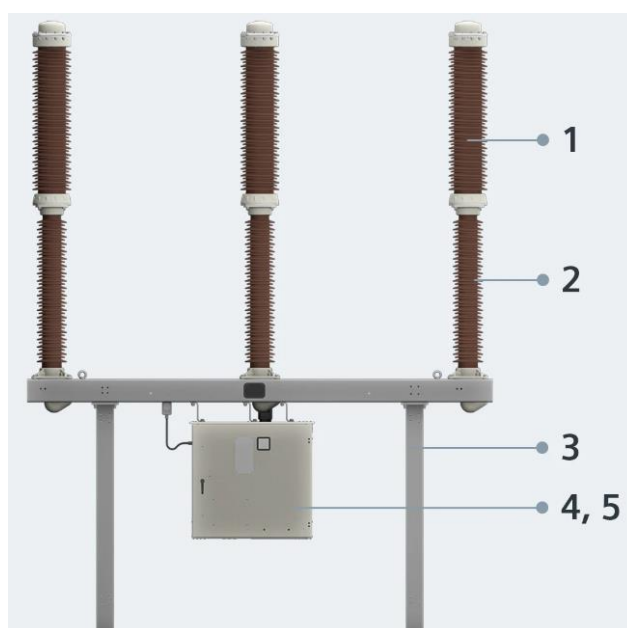
1.2 O disjuntor de alta tensão

Como citado anteriormente, o disjuntor de alta tensão possui função principal de proteção, com o princípio básico para a extinção de um arco-elétrico qualquer, é necessário que se provoque o seu alongamento por meios artificiais, se reduza a sua temperatura e se substitua o meio ionizado entre os contatos por um meio isolante eficiente que pode ser o ar, o óleo ou o gás, o que permite, classificar o tipo de meio

extintor, conseqüentemente as características construtivas dos disjuntores (MAMEDE, 2005).

Para subestações de alta e/ou extra alta tensão, o mais comum é se utilizar disjuntores de alta tensão com interrupção a gás hexafluoreto de enxofre (SF₆), como o visto na Figura 7, esquematizando um disjuntor de alta tensão.

Figura 7 – Modelo de disjuntor de alta tensão a gás SF₆



Fonte: (SIEMENS ENERGY, 2024)

Existem diferentes tipos de disjuntores de alta tensão a gás SF₆ (modelos com acionamentos individuais por polo, com um único acionamento para os três pólos, como o da imagem acima, e modelos compactos que podem ter seccionadoras embutidas) mas todos os tipos de disjuntor de alta tensão, são constituídos pelos mesmos componentes básicos: 1- Unidade interruptora; 2- Isolador suporte; 3- base; 4- Armário de comando; 5- Mecanismo de acionamento.

Além da função de proteção, os disjuntores também podem atuar como equipamentos de manobra, possibilitando manutenções ou desligamentos parciais de partes do sistema, permitindo ou não a passagem de corrente elétrica, isso deve-se ao fato de sua capacidade de estabelecer ou interromper correntes elétrica, tanto em condições normais, quanto em situações de anormalidades.

Em suma, os disjuntores de alta tensão podem possuir a capacidade de interromper correntes de circuitos operantes a plena carga e/ou a vazio, além de energizar os mesmos circuitos em condições de operação normal ou em falta (MAMEDE, 2021). Usualmente, os disjuntores de alta tensão atuam em conjunto com chaves seccionadoras, sendo utilizados para conectar ou desconectar circuitos nos barramentos do sistema, interrompendo correntes de desvio dentro dos circuitos, com o menor espaço de tempo possível.

Tratando-se de disjuntores de alta tensão, existem diferentes tipos, de acordo com o tipo de acionamento mecânico (a mola ou hidráulico), classe de tensão (podendo variar de 72,5 até 800 kV), meio isolante para extinção de arco elétrico e características de acionamento do disjuntor em relação aos polos (acionamento único para as três fases da subestação ou acionamento individual para cada fase).

Devido a essa gama de variações existentes para os disjuntores de alta tensão, entende-se que a fabricação desse equipamento possui particularidades que tornam a produção desses disjuntores, uma tarefa desafiadora.

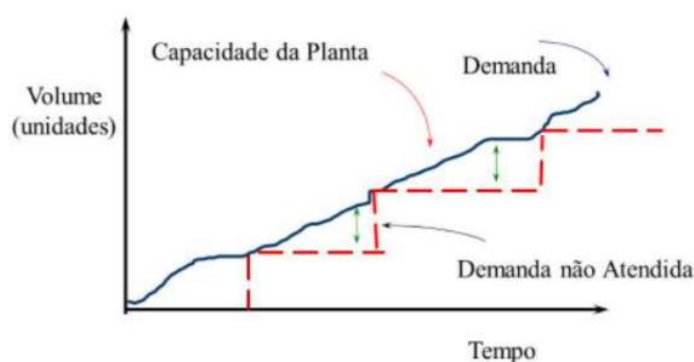
Analisando-se esse cenário, nos próximos capítulos serão abordados temas relacionados a produção desse tipo de equipamento, considerando-se algumas dessas particularidades de fabricação.

2. CAPACIDADE PRODUTIVA

Capacidade produtiva é a quantidade máxima de peças/produtos e/ou serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva (fábrica), em um determinado período (MOREIRA, 2009).

Deste modo, o estudo de capacidade produtiva é essencial para gerenciar o fluxo operacional de empresas e auxilia na tomada de decisões mais assertivas, sendo que equilibrar a capacidade produtiva com a demanda atual e futura é o maior desafio encontrado para o planejamento de produção, como visto na Figura 8, que representa o crescimento de demanda e capacidade (em volume) ao longo do tempo.

Figura 8 – Gráfico representativo “demanda x capacidade”



Fonte: Notas de aula, Universidade Federal de Viçosa UFV

Nota-se que apesar da demanda crescente ao longo dos anos, a capacidade da planta em questão também cresceu de maneira proporcional, deste modo sempre será possível atender as demandas necessárias. Aumentar a capacidade produtiva da planta muito mais do que a demanda sugere, causa desperdício de recursos (mão-de-obra, máquinas ociosas etc.). Contudo, aumentar a capacidade produtiva a um nível menor do que a demanda pede também é um problema, pois não se terá recursos necessários para atender aos clientes que surgirem.

Deste modo, manter o equilíbrio da capacidade e demanda é essencial para o bom funcionamento e resultado de uma empresa. Ter plena noção dos recursos e horários disponíveis também se faz necessário, visto que capacidade é o maior nível de produção que uma empresa pode manter razoavelmente empregando horários de

trabalho realistas dos funcionários e o equipamento atualmente instalado na planta (RITZMAN & KRAJEWSKI 2004).

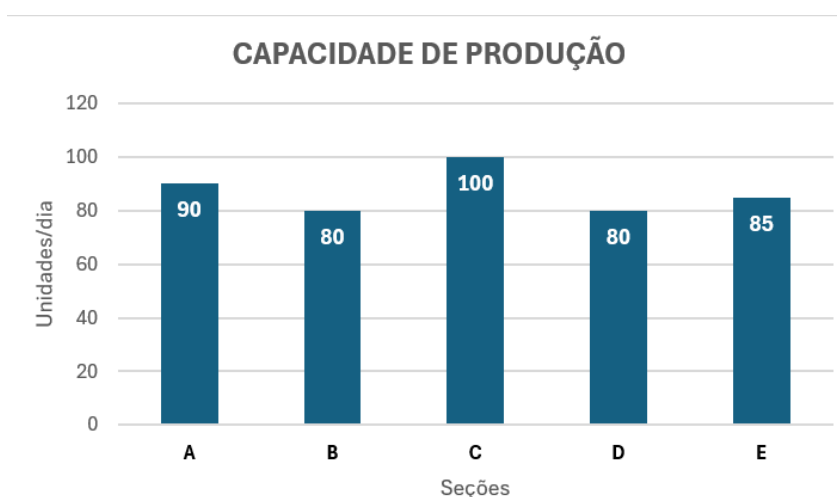
2.1 Cálculo de capacidade produtiva

Partindo do pressuposto de Moreira (2009) que capacidade produtiva é a quantidade máxima de peças/produtos e/ou serviços que podem ser produzidos em um determinado período de tempo, e transformando isso em linguagem matemática, a Equação 1:

$$\text{Capacidade produtiva} = \frac{n^{\circ} \text{ produtos}}{\text{Tempo disponível}} \quad (1)$$

Para uma produção em uma planta de produto único, essa definição funciona perfeitamente, isso porque durante todo o tempo disponível será produzido sempre o mesmo produto final. Para tornar o cálculo de capacidade ainda mais assertivo, podemos calcular a capacidade para cada setor produtivo ou máquina existente, assim podemos ver qual é a restrição da planta estudada como ilustra a Figura 6, exemplificando a capacidade produtiva por setor de produção.

Figura 9 – Capacidade de produção por setor (A, B, C, D e E)



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o gráfico com a capacidade de cada setor desse exemplo, nota-se que os setores B e D são quem determina a capacidade de toda fábrica, pois é onde existe menor produção de unidades por dia de trabalho.

Para modelos de produção mixados (com mais de um tipo de produto) esse controle de capacidade não é obtido de maneira tão simples como o modelo visto anteriormente, quanto mais produtos diferentes forem considerados, mais difícil se tornar de mensurar a capacidade. Entretanto, é possível se considerar uma unidade padrão e posteriormente estabelecer relações entre todos os diferentes produtos e essa unidade base.

2.2 Restrições de produção para manufatura

De acordo com a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) de Eliyahu M. Goldratt, em qualquer sistema complexo (como uma operação de manufatura), existe pelo menos uma restrição que limita o desempenho geral do sistema de produção, sendo que essa e outras restrições podem ser divididas em restrições internas e restrições externas.

As restrições externas referem-se a questões de mercado e ambiente em que o sistema de produção está inserido. Já as restrições internas, referem-se a questões da própria empresa, como disponibilidade de mão de obra, tempo de produção de cada produto, maquinário disponível etc.

Identificar onde está a restrição da produção se faz fundamental para que seja possível atender futuras demandas do mercado. Ainda de acordo com a Teoria das Restrições, os passos para sanar uma restrição são: Identificar e explorar a restrição, ajustar outros processos que auxiliem no processo restritivo e por fim aumentar a capacidade da restrição, feito isso a restrição deverá ser sanada.

Após seguir esses passos para eliminar uma restrição, pode-se refazer todo o passo a passo, a fim de melhorar outra restrição existente.

2.3 Proposta de modelo de projeto

A partir do cenário de expansão de subestações, com consequente aumento da necessidade de equipamentos de pátio, como o disjuntor de alta tensão, e diante das

restrições que determinam a capacidade de produção, pode-se propor um modelo capaz de auxiliar na tomada de decisão em relação a capacidade produtiva.

Para desenvolvimento do modelo, tornou-se essencial compreender as particularidades do sistema de produção e manufatura da indústria em questão. Também foi preciso selecionar softwares e ferramentas apropriados para a implementação, que estivessem em conformidade com as aprovações da empresa e respeitassem todas as diretrizes e metodologias de trabalho estabelecidas, a fim de estabelecer o modelo sugerido.

2.4 Características da produção estudada

A manufatura estudada tem atuação no setor de energia elétrica, especificamente produzindo equipamentos de alta tensão para pátios de subestações de diversos tipos. Os produtos produzidos são chave-seccionadoras e disjuntores, com tensão nominal variando de 72,5 kV até 800 kV.

O processo de produção desses equipamentos não é seriado, ou seja, cada equipamento é único, projetado e fabricado de acordo com as especificações e definições de cada cliente. Assim sendo, não existe uma linha de produção em série automatizada e todos os processos de produção são realizados manualmente (com auxílio de máquinas e ferramentas específicas) pelos operadores da linha de produção.

Para que o sistema de produção funcione corretamente, dividem-se as atividades em diferentes setores, começando pelo setor de vendas que é responsável pela negociação de projetos, contratos e prazos de entrega dos equipamentos. Outro setor é o de engenharia de produto, é responsável por desenvolver o equipamento que foi negociado por vendas, fornecendo desenhos técnicos e informações para a produção.

O planejamento e controle da produção (PCP) fica responsável por fazer o *load* de fábrica, sequenciando quais equipamentos serão produzidos por mês, de acordo com a demanda e disponibilidade de recursos de fábrica. Assim sendo, o PCP é responsável pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira possível os planos estabelecidos nos níveis estratégico, técnico e operacional (TUBINO, 2017).

2.5 Problemas enfrentados pelo PCP

Para Tubino (2017), o planejamento de produção é a atividade mais relevante/importante dentro das atividades do PCP, que consiste no planejamento de curto prazo (geralmente mensal) definindo o que, quando e quanto será produzido.

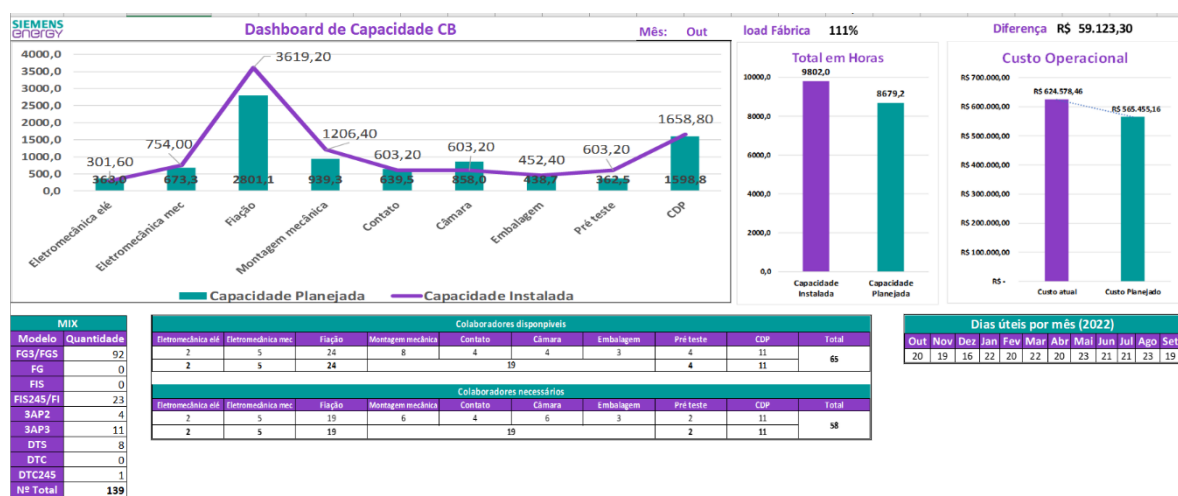
Deste modo, o PCP deve considerar diversas restrições e recursos da produção, como a mão de obra, tempo disponível, tempo de processamento dos equipamentos, máquinas disponíveis etc. Nesse ponto começam as dificuldades de se fazer um planejamento de produção de equipamentos não seriados e manufaturados sem processos automatizados. Isso se deve principalmente porque cada equipamento leva um tempo específico de produção e a tendência é que se trabalhe com um mix de diferentes produtos.

Outro desafio é conciliar a demanda exigida pelos clientes com as horas de fábrica disponíveis (mão de obra x tempo produtivo), isso porque a demanda varia mês a mês, de acordo com as datas contratuais feitas pelo setor de vendas da empresa.

2.6 Sistema proposto

Como uma forma de mitigar os problemas enfrentados pelo PCP, apresentados anteriormente, propõe-se criar uma aplicação em *Excel*, onde é possível se imputar os diversos equipamentos a serem produzidos, modelo por modelo, a quantidade de mão de obra disponível, e como saída se obtém a quantidade de mão de obra necessária, a diferença entre a mão de obra necessária e a disponível por centro de trabalho, total de horas de produção atual e necessárias e diferença entre o custo operacional atual e o necessário, como pode-se ver na Figura 10.

Figura 10 – Dashboard com informações de capacidade fabril



Fonte: Elaborado pelo autor

Para isso, se faz necessário criar uma base de dados com todas as informações de horas disponíveis por turno, número de colaboradores por centro de trabalho, custo hora-homem da fábrica, tempo de produção por centro de trabalho de cada produto e quantidade de dias úteis em cada mês. Com esses dados primários, pode-se obter outros dados (derivados dos dados primários) como, capacidade instalada em fábrica em horas e custo operacional instalado.

2.7 Mapeamento de dados base para criação da ferramenta proposta.

Os dados necessários para se criar a ferramenta proposta são fornecidas por diferentes setores da empresa e para que essa ferramenta seja funcional e reflita a realidade fabril, é essencial que todos esses dados se encontrem em um mesmo local.

Com auxílio do setor de engenharia de métodos e processos, obtiveram-se os dados referentes ao tempo de produção de cada produto, o chamado “roteiro de produção”. Um exemplo do modelo de roteiro de produção utilizado encontra-se na Figura 11.

Figura 11 – Modelo de roteiro de produção para disjuntores de alta tensão

TABELA DE ROTEIROS PARA DISJUNTORES						
CENTRO TRABALHO	OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO	3AP1 FG-3 72,5 - 3AP1 FG-FGS 145	3AP1 FG 245	3AP1 FI-FIS 72,5 a 170 FI4 72,5	3AP1 FI - FIS 245
		NÚMERO SAP	50003844	50003845	50003846	50003847
CONTATOS	0020	Montagem do Contato fixo e móvel	1,500	3,330	3,500	6,500
CONTATOS	0030	Montagem da Caixa de alavancas.	1,500	2,500	0,500	0,500
POLOS DJ	0040	Montagem da cabeça duplo acionamento	n/a	n/a	n/a	n/a
POLOS DJ	0050	Montagem polo e medição resist. contato	5,000	6,000	4,000	4,000
POLOS DJ	0060	Acopl. contato e fixar suporte capacitor	n/a	n/a	n/a	n/a
POLOS DJ	0070	Montagem contato fixo/móvel do resistor	n/a	n/a	n/a	n/a
POLOS DJ	0080	Colocar resistores nos invólucros	n/a	n/a	n/a	n/a
POLOS DJ	0090	Montar eletrodos nos invólucros.	n/a	n/a	n/a	n/a
ELÉTRICA	0100	Identificações (Anilhas e etiquetas)	0,500	0,670	0,830	0,830
ELÉTRICA	0101	Colocar Proteção da anilha (Luvinha)	0,300	0,300	0,500	0,500
ELETRMEC	0110	Montagens mecânicas FG	2,700	4,500	n/a	n/a
ELÉTRICA	0111	Preparação Fiação Comando	0,280	0,280	n/a	n/a
ELETRMEC	0130	Armário COMANDO CB - Montagem	1,730	1,730	1,950	1,950
ELETRMEC	0131	Armário COMANDO DS - Montagem	n/a	n/a	n/a	n/a

Fonte: Elaborado pelo autor

Através do roteiro de produção, tem-se a informação de quanto tempo cada equipamento leva para ser produzido, dividindo-se esse tempo em diversas operações (atividades) para cada centro de trabalho existente na fábrica em questão. Cada equipamento possui seu próprio roteiro de produção e qualquer item adicional solicitado pelo cliente influencia no tempo de produção que vai compor o roteiro do equipamento.

Os dados referentes à quantidade de mão de obra disponível em cada centro de trabalho (CT) foram obtidos através do setor de controladoria de fábrica, a Tabela 1 representa o número de colaboradores em cada centro de trabalho.

Tabela 1 – Mão de obra disponível por centro de trabalho

Centro de trabalho	Nº Pessoas
Eletromecânica elé	2
Eletromecânica mec	5
Fiação	24
Montagem mecânica	8
Contato	4
Câmara	4
Embalagem	3
Pré teste	4
CDP	11
Total	65

Fonte: Elaborado pelo autor

O custo da hora homem de cada centro de trabalho também foi fornecido pelo setor de controladoria de fábrica e se encontram Tabela 2.

Tabela 2 – Relação de custo (hora homem) por centro de trabalho

Centro de trabalho	Custo Hora Homem (R\$)
Eletromecânica Elé	52,42
Eletromecânica mec	
Fiação	
Montagem mecânica	
Contato	
Câmara	
Embalagem	
Pré teste	101,26
CDP	

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados de mão de obra disponíveis influenciam diretamente na capacidade fabril, visto que se tratando de uma fábrica que produz somente equipamentos não seriados, ou seja, quanto mais mão de obra disponível mais produtos podem ser produzidos. Portanto, manter esses dados atualizados é de extrema importância para o bom funcionamento da ferramenta proposta.

As informações referentes a custo, irão mostrar o quanto essa mão de obra está custando para a operação da fábrica, de maneira que sempre se tenha um equilíbrio entre a quantidade de equipamentos produzidos e o custo operacional da fábrica, visto que produzir pouco e manter um custo operacional alto, mostra que há mão de obra excedente. Caso se tenha um custo muito baixo e uma grande quantidade de equipamentos a serem produzidos, pode-se concluir que existe falta de mão de obra.

Ainda com a ajuda do setor de controladoria de fábrica, obteve-se a informação de quantidade de horas disponíveis por dia útil, que é de 7,54 horas (já descontando hora de almoço, pausas para café, ginástica laboral e treinamentos), além da quantidade de dias úteis por mês em cada ano. A informação de dias úteis é disponibilizada como

exemplificado pela Tabela 3, mostrando os meses na sequência utilizada pela empresa, sendo outubro o início e setembro o último mês do mesmo ano fiscal.

Tabela 3 – Modelo de dias úteis para cada mês

MÊS	DIAS ÚTEIS
OUT	20
NOV	19
DEZ	16
JAN	22
FEV	20
MAR	22
ABR	20
MAI	23
JUN	21
JUL	21
AGO	23
SET	19

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se, na tabela 3, que a quantidade de dias úteis varia para todos os meses, com uma baixa considerável no mês de dezembro, isso se deve ao fato de que a empresa faz regime de recesso durante as festas de fim de ano (natal e ano novo).

No geral, considera-se que, em média, um mês de trabalho tenha 20 dias úteis. Considerando as 7,54 horas de trabalho disponíveis por dia útil, tem-se que cada colaborador trabalha em média 150,8 horas por mês.

Como citado anteriormente, para o funcionamento adequado da ferramenta proposta, precisa-se colocar todos esses dados primários, mostrados acima, em um mesmo local para que seja possível trabalhar os dados secundários a partir deles.

2.8 Desenvolvimento da ferramenta para cálculo de capacidade produtiva

Utilizando-se os dados primários apresentados anteriormente, tornou-se possível começar o desenvolvimento da ferramenta capaz de calcular a capacidade produtiva da

implementação e desenvolvimento da ferramenta proposta. A disponibilidade desses dados na mesma aba, garante maior padronização durante a execução do trabalho.

Com essas quatro bases de dados unificadas em um mesmo local, o segundo passo para o desenvolvimento da ferramenta é iniciar os cálculos das informações complementares.

Assim sendo, iniciou-se essa segunda etapa calculando a capacidade instalada em cada centro de trabalho, pela Equação 2:

$$\text{Capacidade Instalada} = \text{mão de obra disponível} \times \text{dias úteis} \times 7,54h \quad (2)$$

Onde 7,54 é o número de horas de trabalho disponíveis por dia útil.

Com o cálculo demonstrado acima, pode-se obter qual é o número total de horas de trabalho disponíveis no mês em cada centro de trabalho específico, exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Capacidade instalada por centro de trabalho

Centro de trabalho	Nº Pessoas	Capacidade Instalada (h)
Eletromecânica elé	2	301,60
Eletromecânica mec	5	754,00
Fiação	24	3619,20
Montagem mecânica	8	1206,40
Contato	4	603,20
Câmara	4	603,20
Embalagem	3	452,40
Pré teste	4	603,20
CDP	11	1658,80
Total	65	9802,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se, na Tabela 4 que a capacidade instalada varia muito entre os diferentes centros de trabalho, isso se deve ao fato de que cada um dos centros de trabalhos tem atividades específicas com durações diferentes, então onde o tempo da atividade é maior, se faz necessário colocar mais mão de obra, o contrário também é válido.

Para a capacidade planejada de fábrica (total de equipamentos a serem produzidos em horas, por centro de trabalho), utilizou-se uma sistemática, onde é necessário imputar quais serão os equipamentos produzidos dentro do mês a ser analisado. Com essa informação, pode-se calcular quanto tempo será necessário em cada centro de trabalho utilizando o tempo de roteiro, calculado pela Equação 3:

$$\text{horas CT1 equipamento A} = n^{\circ} \text{ equipamentos A} \times \text{tempo roteiro CT1} \quad (3)$$

Replica-se essa equação para todos os equipamentos, em todos os centros de trabalho, para posteriormente somar as horas por centro de trabalho, como disposto na Equação 4:

$$\text{Capacidade planejada CT1} = \text{horas CT1 equipamento A} + \text{horas CT1 equipamento B} \dots + \text{horas CT1 equipamento n} \quad (4)$$

Realizando esses cálculos, pode se obter uma tabela comparativa da capacidade disponível versus a capacidade planejada pelo setor de planejamento e controle da produção, disponível na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação entre capacidade disponível e capacidade planejada

Centro de trabalho	Nº Pessoas	Cap Instalada (hh)	Cap Planejada (hh)
Eletromecânica elé	2	301,60	368,0
Eletromecânica mec	5	754,00	673,3
Fiação	24	3619,20	2801,1
Montagem mecânica	8	1206,40	939,3
Contato	4	603,20	639,5
Câmara	4	603,20	858,0
Embalagem	3	452,40	438,7
Pré teste	4	603,20	362,5
CDP	11	1658,80	1598,8
Total	65	9802,0	8679,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 5, é possível analisar a divergência, em horas homem, entre a quantidade planejada e a capacidade real (instalada) da fábrica, onde é possível observar que em alguns CT sobram horas e em outros faltam horas disponíveis.

A fim de tornar essa informação mais simples de se visualizar, pode-se calcular essa divergência em número de colaboradores (mão de obra) por CT, utilizando-se a Equação 5.

$$\text{Divergência nº de colaboradores} = \frac{(\text{capacidade instalada} - \text{capacidade planejada})}{(7,54 \times \text{dias úteis})} \quad (5)$$

Calculando-se a divergência entre o número de colaboradores disponíveis e o número de colaboradores necessários, se obtém as informações dispostas na Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação entre capacidade planejada e disponível

Centro de trabalho	Nº Pessoas	Cap. Instalada	Cap. Planejada	Status	Divergência
Eletromecânica elé	2	301,60	368,0	Faltam	-0,4
Eletromecânica mec	5	754,00	673,3	Sobram	0,5
Fiação	24	3619,20	2801,1	Sobram	5,3
Montagem mecânica	8	1206,40	939,3	Sobram	1,7
Contato	4	603,20	639,5	Faltam	-0,2
Câmara	4	603,20	858,0	Faltam	-1,7
Embalagem	3	452,40	438,7	Sobram	0,1
Pré teste	4	603,20	362,5	Sobram	1,6
CDP	11	1658,80	1598,8	Sobram	0,4
Total	65	9802,0	8679,2		

Fonte: Elaborado pelo autor

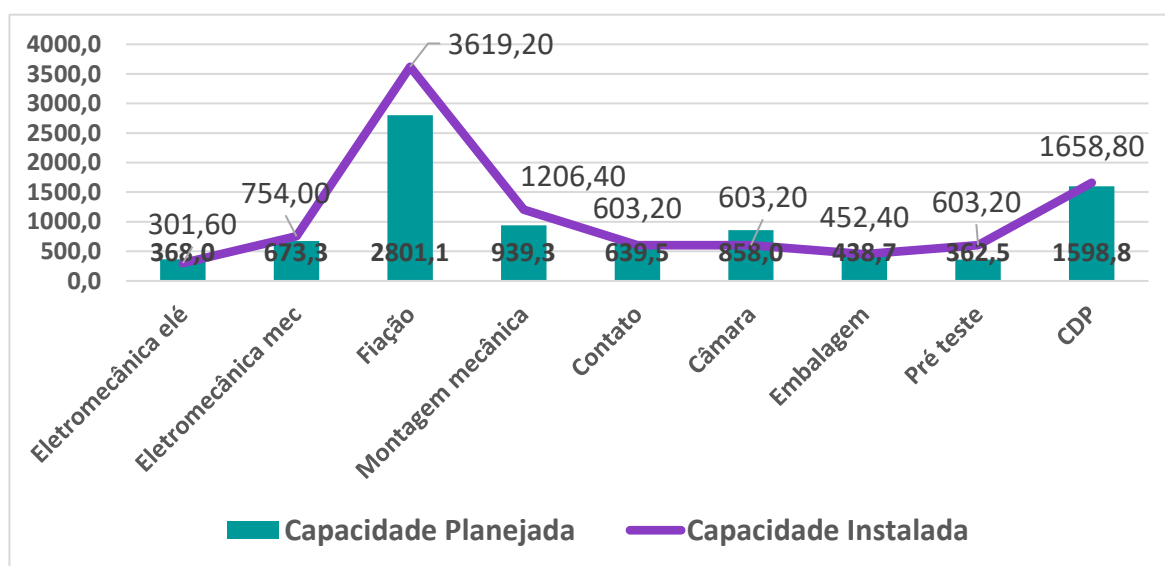
Para se analisar as informações da coluna divergência, deve-se considerar que 1 pessoa equivale a um colaborador durante todo o turno de trabalho (7,54 horas), já para os casos de 0,5 pessoa ou outros valores quebrados, considera-se um colaborador disponível pelo tempo proporcional do turno de trabalho, ou seja, 7,54h X divergência encontrada na Tabela 6.

Por exemplo, no caso do CT “eletromecânica mec”, tem-se uma divergência de 0,5 pessoas, então fazendo a relação citada acima, teremos um colaborador sobrando por metade do turno de trabalho (7,54 X 0,5). Essa informação auxilia os coordenadores e líderes de produção a remanejarem seus colaboradores entre os diferentes centros de trabalho, para que se atenda a demanda planejada sem grandes problemas e sem a

necessidade de contratar e/ou demitir alguns colaboradores, devido a variação de demanda que ocorre mensalmente.

Com as informações dispostas na Tabela 6, se torna possível criar um dashboard (gráfico) para que seja possível analisar esses dados com mais facilidade e de maneira mais assertiva. A Figura 14 apresenta um gráfico comparativo, em horas, entre capacidade instalada em fábrica e a capacidade necessária para atender ao que foi planejado.

Figura 14 – Gráfico comparativo das capacidades instalada e planejada



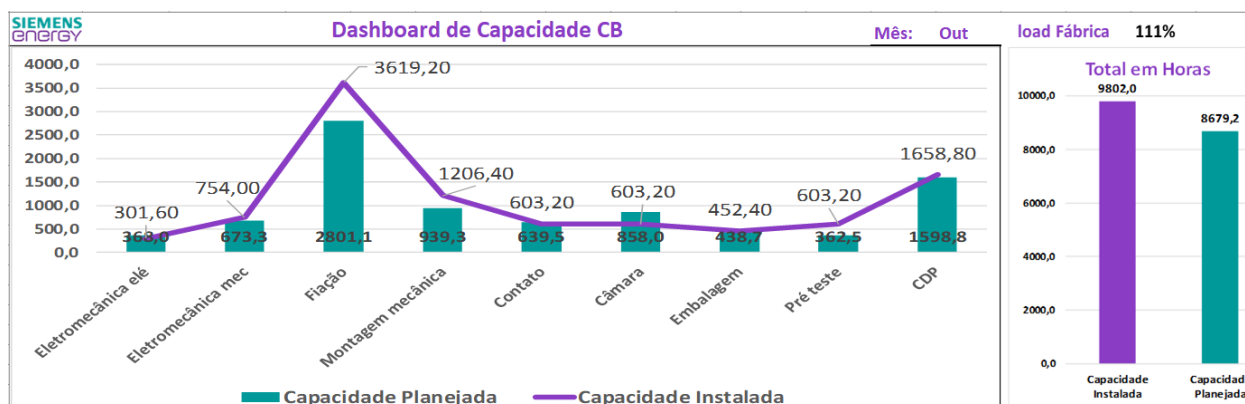
Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico da Figura 14, tem-se no eixo X os centros de trabalho e no eixo Y o total em horas. A capacidade instalada é dada pelo gráfico de linha na cor roxa, enquanto a capacidade planejada é mostrada através do gráfico de barras em cor verde. Ambos os gráficos utilizam os mesmos eixos X e Y e se sobrepõem, gerando uma visualização facilitada sobre o cenário criado em cada um dos centros de trabalho.

Simplificando o gráfico acima, criou-se uma outra visualização, que também mostra as capacidades planejada e instalada, em horas, mas de forma resumida, apresentando somente o total de horas para cada tipo de capacidade, desconsiderando os centros de trabalho.

Essa nova visualização comparativa de horas totais acompanha o gráfico anterior, compondo um único dashboard, com duas visualizações, disposto na Figura 15.

Figura 15 – Capacidade instalada versus capacidade planejada



Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo gráfico disposto na Figura 15, é obtido a partir dos dados da linha “total” da Tabela 6. Representando uma visualização menos profunda do que a gerada pelo primeiro gráfico da Figura 15. Comparando os dois valores de capacidade mostrados pelo gráfico “Total em horas”, pode-se ter noção de quanto a capacidade instalada está sendo utilizada, o que é chamado de *load* de fábrica, disposto no canto superior direito da Figura 15. O load de fábrica é dado pela Equação 6:

$$Load\ fábrica = \left(1 + \frac{(capacidade\ planejada - capacidade\ instalada)}{capacidade\ instalada} \right) \times 100\% \quad (6)$$

Utilizando-se a informação de capacidade instalada e planejada, disposta na Tabela 6 e relacionando-a com as informações de custo hora homem da Tabela 2, pode-se calcular o custo fabril atual (custo instalado em fábrica) e o custo necessário para se atender a demanda desejada (custo planejado), como pode-se ver na Tabela 7.

Tabela 7 – Custos planejados e instalados

Centro de trabalho	Custo HH (R\$)	Custo atual (R\$)	Custo planejado (R\$)
Eletromecânica Elé	52,42	16.600,37	20.177,51
Eletromecânica mec	52,42	41.500,91	41.500,91
Fiação	52,42	199.204,39	155.148,37
Montagem mecânica	52,42	66.401,46	52.019,65
Contato	52,42	33.200,73	35.155,43
Câmara	52,42	33.200,73	46.921,29
Embalagem	52,42	24.900,55	24.162,83
Pré teste	52,42	33.200,73	20.239,65
CDP	101,26	176.368,59	170.129,53
TOTAL		624.578,46	565.455,16

Fonte: Elaborado pelo autor

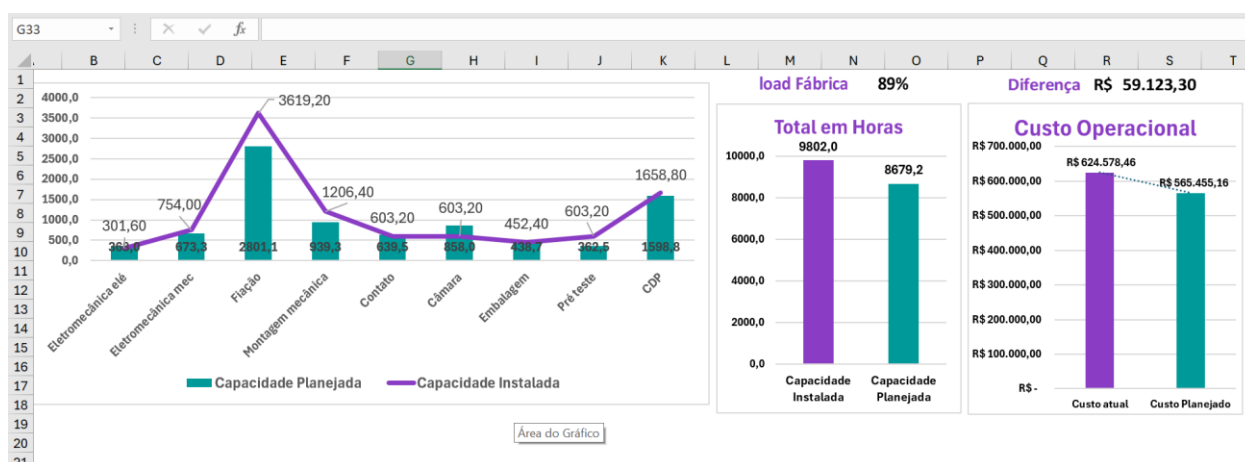
Assim como foi feito para o *load* de fábrica, pode-se comparar a diferença entre os custos dispostos na Tabela 7, através de uma relação simples, apresentada na equação 7:

$$\text{Diferença de custo} = \text{Custo atual} - \text{Custo planejado} \quad (7)$$

Se o resultado da diferença for positivo, sabe-se que a fábrica está gastando mais do que deveria para produzir todos os equipamentos planejados. Nesse ponto é sempre interessante que os custos estejam o mais próximo possível, a fim de que se garanta o equilíbrio financeiro entre demanda e capacidade.

Agregando todos os resultados que foram calculados até aqui e gerando os gráficos para cada tipo de informação, tem-se a primeira parte da visualização da ferramenta de cálculo de capacidade proposta, que pode ser vista na Figura 16.

Figura 16 – Início da visualização da ferramenta de cálculo de capacidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse primeiro momento, analisando a ferramenta que se criou até aqui, tem-se informações a respeito da divergência entre as capacidades, total em horas e custos, sempre comparando o que se tem atualmente com o que é necessário para cumprir a demanda planejada.

Outra informação importante para o gerenciamento de fábrica, é saber qual a mão de obra disponível atualmente (instalada) e quanto será necessário para se produzir os equipamentos planejados, separados por centro de trabalho. Para se obter essa informação, utilizando os dados de capacidade da Tabela 6 e a equação 8:

$$\text{Colaboradores necessários} = \frac{\text{capacidade planejada}}{7,54h \times \text{dias úteis}} \quad (8)$$

Por se tratar de número de pessoas, deve-se trabalhar com números cheios e não quebrados, para isso atualizou-se a função “ARRED” do Excel e configurando o arredondamento para que não se tenha nenhuma casa decimal. Para se obter o número de colaboradores disponíveis, não se faz cálculos, isso porque, para o funcionamento adequado da ferramenta, essa informação deve ser um input vindo dos coordenadores de produção.

Após se calcular o número de colaboradores disponíveis para cada centro de trabalho, pode-se montar uma tabela comparativa entre mão de obra necessária e disponível, disposto na Figura 17.

Figura 17 – Colaboradores disponíveis e necessários por centro de trabalho

Colaboradores disponíveis									
Eletromecânica elé	Eletromecânica mec	Fiação	Montagem mecânica	Contato	Câmara	Embalagem	Pré teste	CDP	Total
2	5	24	8	4	4	3	4	11	65
2	5	24	19				4	11	
Colaboradores necessários									
Eletromecânica elé	Eletromecânica mec	Fiação	Montagem mecânica	Contato	Câmara	Embalagem	Pré teste	CDP	Total
2	5	19	6	4	6	3	2	11	58
2	5	19	19				2	11	

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que cada centro de trabalho pode ter dois cenários diferentes, mais mão de obra disponível do que o necessário ou menos mão de obra disponível do que o necessário, com isso, cabe a coordenação fabril remanejar os colaboradores dos centros que sobram mão de obra, para os centros onde se está com falta de mão de obra.

Contudo, nota-se que no valor total de colaboradores, existe uma diferença consideravelmente grande, nesse caso, deve-se analisar se essa diferença se mantém para os próximos meses ou não, a fim de que a coordenação possa tomar decisões assertivas a respeito dessa diferença.

Para finalizar a parte de visualização da ferramenta, é preciso criar um campo para que o usuário possa colocar as quantidades de cada modelo de equipamento (disjuntor de alta tensão) a ser produzido. Também se faz necessário que o usuário escolha o mês em que esses equipamentos serão produzidos, visto que cada mês possui uma quantidade de dias úteis diferentes.

A Tabela 8, apresenta a informação do mix de produção, antes do preenchimento de dados pelo usuário.

Tabela 8 – Mix de produção sem preenchimento do usuário

MIX	
Modelo	Quantidade
FG3/FGS	
FG	
FIS	
FIS245/FI	
3AP2	
3AP3	

DTS	
DTC	
DTC245	
Nº Total	

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando-se a Tabela 8 como entrada de dados, o usuário pode definir a quantidade de equipamentos de cada modelo apenas escrevendo os valores desejados nas células vazias da tabela, após realizar essa definição de quantidade tem-se um mix completo de produção disposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Mix de produção preenchido pelo usuário

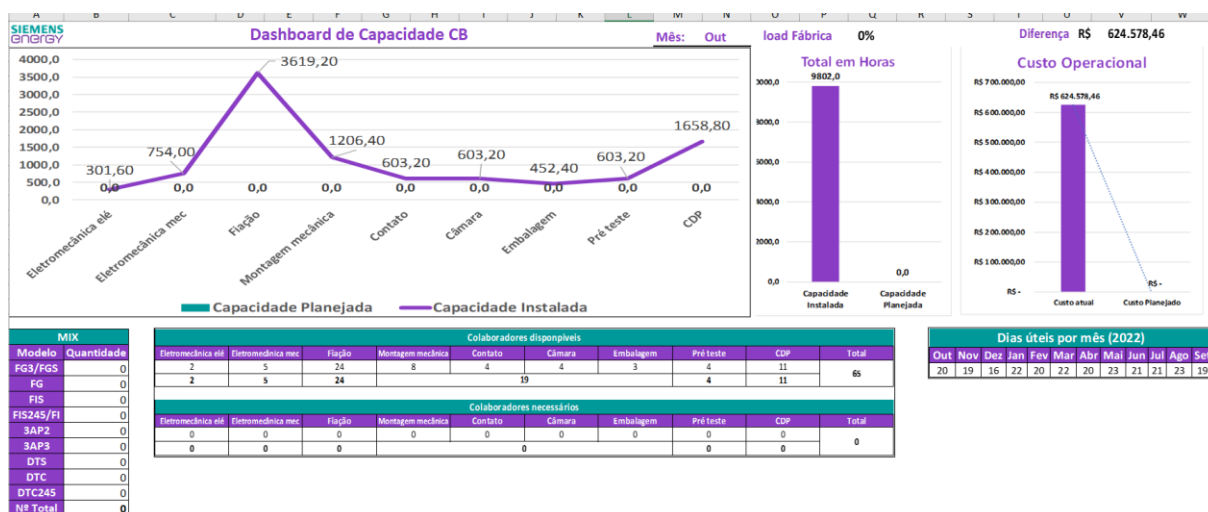
MIX	
Modelo	Quantidade
FG3/FGS	92
FG	0
FIS	0
FIS245/FI	23
3AP2	4
3AP3	11
DTS	8
DTC	0
DTC245	1
Nº Total	139

Fonte: Elaborado pelo autor

As informações inseridas na Tabela 9 irão influenciar todos os dados secundários descritos até aqui, isso porque todo o cálculo de capacidade planejada, colaboradores necessários e custo planejado, depende diretamente da quantidade de equipamentos de cada modelo.

Acrescentando os dados inseridos na Tabela 9, a tabela de colaboradores disposta pela Figura 17 e os dados de dias úteis por mês da Tabela 3, a visualização da ferramenta, chega-se ao modelo que foi proposto inicialmente, como apresentado pela Figura 18.

Figura 18 – Visualização da ferramenta finalizada



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se observar que quando a tabela de quantidade de equipamentos por modelo fica sem informação (valores 0), todos os dados referentes ao planejado também apresenta valores nulos, o que indica que a ferramenta foi criada com lógica de funcionamento coerente.

Com a ferramenta finalizada, pode-se realizar algumas simulações, a fim de testar seu funcionamento e validar sua utilização para tomadas de decisão, em diferentes cenários de produção, para diferentes *mix* de produção.

3. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E RESULTADOS

Após o desenvolvimento completo da ferramenta, se faz necessário executar algumas simulações, para que sua funcionalidade seja testada. Para isso, fez-se três simulações, com cenários diferentes de quantidade de equipamentos, dias úteis e *mix* de produção.

Cabe ressaltar que devido a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), os valores utilizados no roteiro de produção, custo hora homem, quantidade de mão de obra disponível e as quantidades de equipamentos para as simulações, não refletem a realidade da empresa estudada.

A Tabela 10, apresenta a entrada de dados para um mix de produção no mês de setembro, com um total de 115 equipamentos.

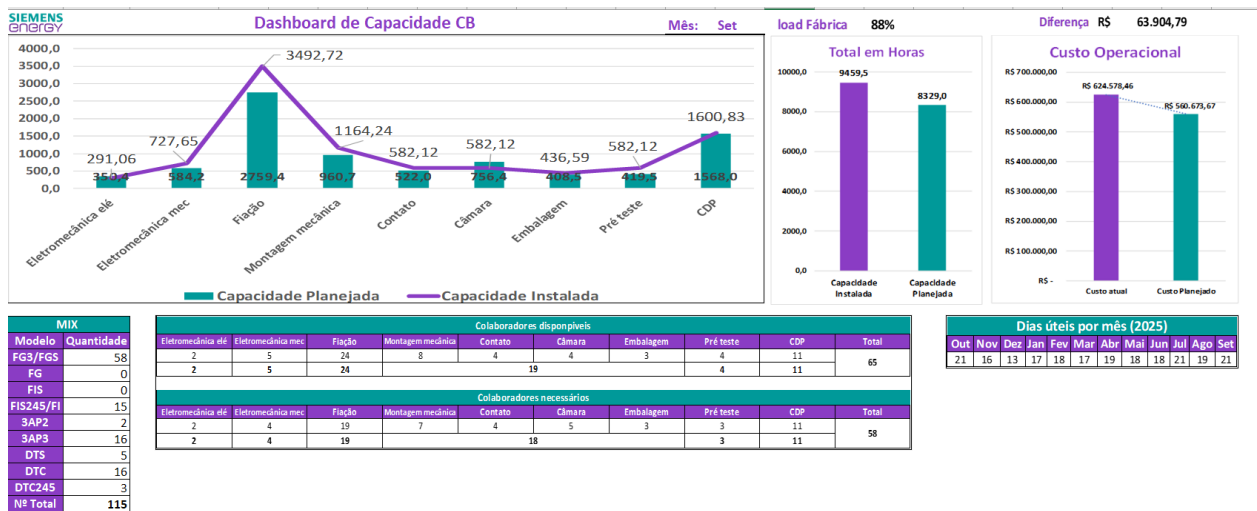
Tabela 10 – Entrada de dados para a primeira simulação

MIX	
Modelo	Quantidade
FG3/FGS	58
FG	0
FIS	0
FIS245/FI	15
3AP2	2
3AP3	16
DTS	5
DTC	16
DTC245	3
Nº Total	115

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando-se os dados da Tabela 10, tem-se como resultado da primeira simulação a visualização da Figura 19, apresentando todos os dados e comparativos de capacidade disponíveis na ferramenta criada.

Figura 19 – Primeira simulação



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a primeira simulação temos uma falta capacidade nos CT “Eletromecânica elé” e “Câmara”, nos demais centros de trabalho existe mais capacidade instalada do que se precisa. Totalizando uma diferença de sete colaboradores.

Analisando-se o valor de *load* de fábrica, nota-se que a capacidade da fábrica que deverá ser utilizada é de apenas 88% da capacidade total disponível, o que reafirma a diferença de sete colaboradores apresentada pela tabela central da Figura 16. As visualizações de “total em horas” e “Custo operacional” seguem a mesma proporção e também pode-se notar que esses valores para capacidade instalada são maiores do que os planejados.

Assim sendo, entende-se que o mix de equipamentos planejado não foi o mais adequado (considerou-se muitos disjuntores com alto tempo de produção para a eletromecânica elé e para a câmara). Além disso, existem sete colaboradores a mais do que o necessário, sendo que cinco estão no mesmo centro de trabalho (fiação), o que sugere que se tem um centro de trabalho mal dimensionado.

Seguindo com as simulações, para o segundo cenário irá se modificar o mês de referência e o mix de equipamentos, considerando-se menos disjuntores do que em relação a primeira simulação.

Assim sendo, para a segunda simulação considerou-se a entrada de dados da Tabela 11, com um mix de produção, distinto do anterior, no mês de novembro, com um total de 106 equipamentos.

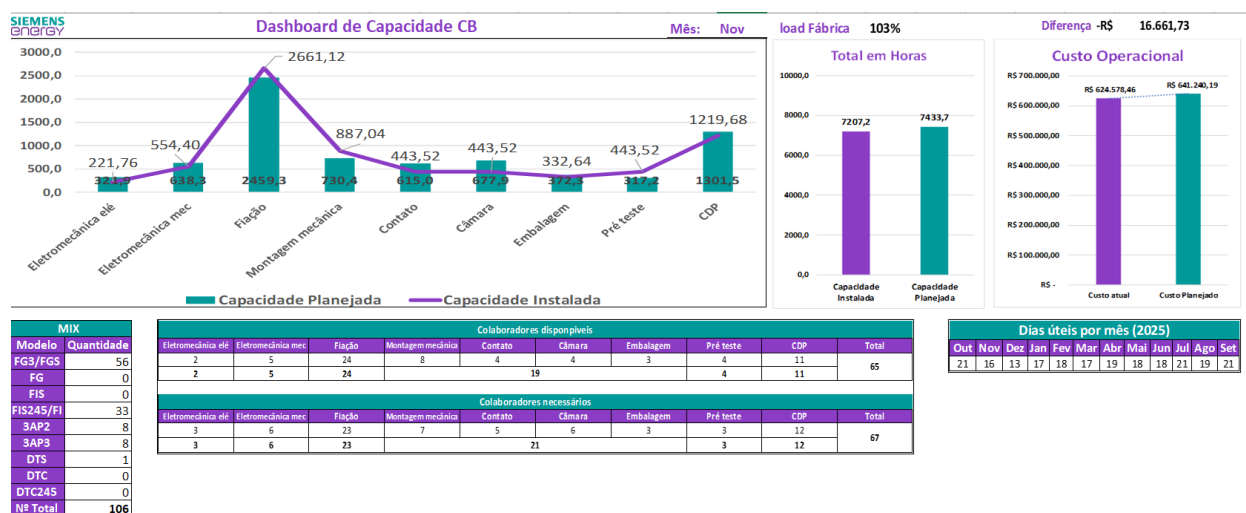
Tabela 11 – Entrada de dados para a segunda simulação

MIX	
Modelo	Quantidade
FG3/FGS	56
FG	0
FIS	0
FIS245/FI	33
3AP2	8
3AP3	8
DTS	1
DTC	0
DTC245	0
Nº Total	106

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando-se os dados da Tabela 11, tem-se como resultado da segunda simulação, a visualização da Figura 20, apresentando todos os dados e comparativos de capacidade disponíveis na ferramenta criada, de maneira similar a feita anteriormente.

Figura 20 – Segunda Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a segunda simulação, diferentemente do que ocorreu na primeira, tem-se que para quase todos os centros de trabalho não possuem a capacidade necessária para se produzir os equipamentos necessários. Isso se deve ao fato de no mês de novembro estão sendo considerados apenas 16 dias úteis e isso impacta no tempo total disponível para se produzir os equipamentos necessários. Para esse caso, quanto menor o número de dias úteis, maior deve ser o número de colaboradores/mão de obra.

Novamente, esse fato relacionado ao número de colaboradores se mostra através do cálculo de load de fábrica, que nesse cenário é de 103%, ou seja, se planejou mais equipamentos do que a fábrica é capaz de produzir. Para que esses disjuntores sejam produzidos, será preciso aumentar a capacidade instalada em horas, isso pode ser feito de duas maneiras, fazendo horas extras com os colaboradores já alocados na fábrica ou contratando mais colaboradores.

Em relação aos custos operacionais, nota-se uma divergência pequena, porém negativa, o que sugere que a capacidade planejada não está adequada e que se precisa aumentar a mão de obra disponível, isso se confirma através do valor de *load* de fábrica, novamente.

Através das duas primeiras simulações pode-se concluir que a ferramenta é capaz de fornecer informações para casos de baixa no *load* de fábrica ou de excesso,

além disso se mostra coerente nos resultados em relação a variação dos inputs, como pode ser visto no resultado obtido através da variação dos dias úteis.

Para finalizar os testes, realizou-se uma terceira simulação, modificando o mês de referência mais uma vez e alterando o mix de equipamentos para um terceiro cenário, diferente dos demais.

Assim sendo, para a terceira simulação considerou-se os valores da Tabela 12, com um mix de produção, distinto dos utilizados anteriormente, no mês de dezembro, com um total de 115 equipamentos.

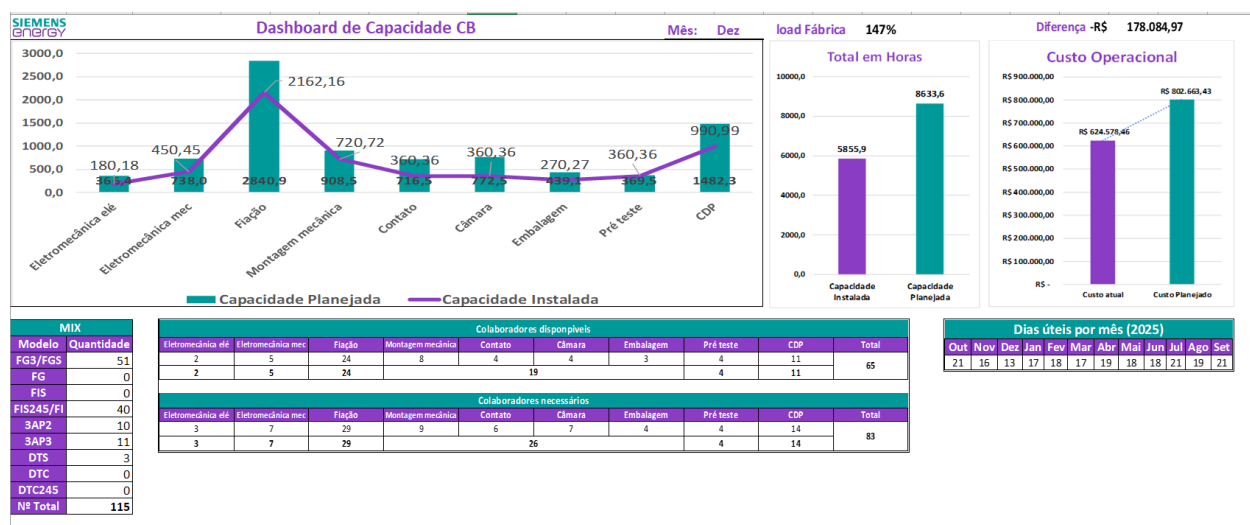
Tabela 12 – Entrada de dados para a terceira simulação

MIX	
Modelo	Quantidade
FG3/FGS	51
FG	0
FIS	0
FIS245/FI	40
3AP2	10
3AP3	11
DTS	3
DTC	0
DTC245	0
Nº Total	115

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando-se os dados da Tabela 12, tem-se como resultado da terceira simulação, a visualização da Figura 21, apresentando todos os dados e comparativos de capacidade disponíveis na ferramenta criada, de maneira similar a obtida anteriormente.

Figura 21 – Terceira Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a simulação final, utilizou-se um mês com ainda menos dias úteis, apenas 13, manteve-se o número total de equipamentos utilizado na primeira simulação (115 disjuntores), mas com um *mix* de produtos parecido com o da segunda simulação.

Por se tratar de um alto número de equipamentos em um mês com poucos dias úteis, nota-se que para todos os centros de trabalho existe menos mão de obra do que o necessário, no total tem-se a necessidade de 18 colaboradores a mais em relação ao que se tem atualmente. Isso se comprova, mais uma vez, através do valor de *load* de fábrica, que para essa simulação possui valor de 147%. Além disso, o mix utilizado para essa última simulação, considera muitos equipamentos (mais de 50% do total de equipamentos) que tem maior tempo de produção, como pode-se observar pela adaptação do roteiro de produção disposto anteriormente na Figura 10.

Em relação aos custos operacionais, assim como na segunda simulação, temos um valor negativo na diferença entre o custo atual e o necessário, isso sugere que para equilibrar o sistema temos que reavaliar o número de equipamentos que serão planejados para dezembro ou será necessário aumentar a mão de obra disponível em fábrica, através de novas contratações.

Considerando-se os resultados obtidos através das simulações para os três diferentes cenários propostos, nota-se que a ferramenta desenvolvida é capaz de

funcionar com diferentes inputs e sempre apresenta resultados que fazem sentido ao serem analisados pelo usuário.

4. CONCLUSÃO

Com as informações analisadas nas simulações para diferentes cenários de demanda de produção, pode-se concluir que a ferramenta para cálculo de capacidade produtiva, que foi desenvolvida nesse trabalho, atinge as expectativas quanto a qualidade do output de informações trazido pela ferramenta, variando de acordo com o input fornecido pelo próprio usuário.

De modo geral, a ferramenta auxilia na análise de planejamento de fábrica, tanto do ponto de vista de quem faz o planejamento de produção, quanto de quem é responsável pelas operações fabris. Além disso, a partir da ferramenta é possível ter uma visão completa do balanceamento entre recursos disponíveis em fábrica e a demanda requerida pelos clientes, também pode-se ter maior noção sobre como remanejar colaboradores de acordo com o mix de equipamentos a serem produzidos.

Para estudos futuros, sugere-se que mais restrições da manufatura sejam levadas em consideração, na hora de se calcular a capacidade produtiva, isso porque de acordo com a Teoria das Restrições, após avaliar cuidar de uma restrição, deve-se começar a analisar outras restrições existentes, sucessivamente.

Além disso, utilizar um software mais robusto para recriar essa ferramenta em *Excel* seria uma grande melhoria, visto que atualmente existem ferramentas mais automatizáveis e com maior poder de processamento.

REFERÊNCIAS

Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2024. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuariolivro/#Cap%C3%ADtulo_1:_Panorama_Mundial. Acessado em: Março 2024.

AZEVEDO, Tiago Sono Alves de Planejamento da capacidade produtiva em uma indústria gráfica. - São Paulo, 2004. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/bitstream/237efa8b-b666-4b8c-97d6-3ac1ad20716a/Tiago%20Sono%20Alves%20de%20Azevedo%20TCC-PRO04.pdf>

GESEL. Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro e o Potencial Hidroelétrico da Região Amazônica. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/53_TDSE50.pdf. Acesso em: Março 2024.

LUSTOSA, L; MESQUITA, M A; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MAMEDE FILHO, João. Manual de Equipamentos Elétricos. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. Edição do Kindle.

MAMEDE FILHO, João. Subestações de Alta Tensão. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. Edição do Kindle.

MESQUITA, Marco Aurélio de. Análise de modelos e práticas de planejamento e programação da produção: um estudo de caso na indústria farmacêutica. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-06072022-082916/pt-br.php>. Acesso em: 11 jul. 2023.

MOREIRA, D. A. Administração de produção e operações. São Paulo: Pioneira, 2009.

Plano Decenal de Expansão Energética (PDE), 2023 Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2023-e-aprovado#:~:text=A%20publica%C3%A7%C3%A3o%20foi%20assinada%20pelo%20Ministro%20de%20Minas,de%20energia%20e%20el%C3%A9trica%20de%2012%20a%2019%20GW>. Acesso em: Março 2024.

RITZMAN, L. R.; KRAJEWSKI, L.J.; Administração da produção e operações. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

SIEMENS ENERGY LTDA. Power transmission products, systems, and solutions. Disponível em: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-transmission/portfolio.html>. Acesso em: Março 2024.

TUBINO, D. F. Planejamento e controle da produção: teoria e prática. 3ª. ed. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2017.

ZACCARELLI, S. B. Programação e Controle da Produção. 5.ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1979.