

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES DE EXECUÇÃO DE PROJETOS  
DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

*Luan Henrique Cardoso Raimundi*

**Orientadora:** *Prof.<sup>a</sup> Dra. Monica do Amaral*

João Monlevade

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

*Luan Henrique Cardoso Raimundi*

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES DE EXECUÇÃO DE PROJETOS  
DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como partes dos requisitos para obtenção de grau em Engenharia de Produção.

**Orientadora:** *Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica do Amaral*

João Monlevade

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R153d Raimundi, Luan Henrique Cardoso.

Dimensionamento de equipes de execução de projetos de energia solar fotovoltaica. [manuscrito] / Luan Henrique Cardoso Raimundi. - 2022.

44 f.: il.: color., gráf., tab.. + Fluxograma.

Orientadora: Profa. Dra. Monica do Amaral.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Administração de pessoal. 2. Arena (Programa de computador). 3. Energia solar - Projetos. 4. Geração de energia fotovoltaica. 5. Serviços de eletricidade - Tarifas. 6. Simulação (Computadores). I. Amaral, Monica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Luan Henrique Cardoso Raimundi**

### **Dimensionamento de equipes de execução de projetos de energia solar fotovoltaica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 25 de outubro de 2022

#### Membros da banca

Dra. Mônica do Amaral - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Alexandre Xavier Martins - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Mônica do Amaral, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/04/2024



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/04/2024, às 18:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0694279** e o código CRC **74900EA3**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus, por me permitir chegar ao final de mais uma etapa em que, no seu decorrer, passei por situações difíceis e perdas, mas que se não fosse sua benção e luz, que sempre carreguei comigo, não seria possível estar concluindo-a.

Agradeço ao meu pai Joaquim, que por grande parte dessa caminhada esteve comigo, me dando muita força e amor. Infelizmente ele partiu antes que eu terminasse, mas se juntou à minha mãe e, lá de cima, continuaram me guiando.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos, que sempre estiverem presentes me dando apoio e servindo de suporte.

Para finalizar, agradeço à minha professora orientadora Mônica do Amaral, primeiramente pelo convite para ser seu orientando e, principalmente, pela dedicação, paciência e sensibilidade que teve durante esse período juntos, que foram essenciais para que pudesse realizar esse trabalho.

Todos vocês têm o meu muito obrigado.

## RESUMO

Os constantes aumentos das tarifas energéticas, agravados por causas naturais, como por exemplos as grandes secas que, por consequência, refletem em taxas extras e um valor mais alto na fatura de energia. As pessoas vêm mudando o pensamento, tendo maior interesse em adquirir sua própria usina solar fotovoltaica. Dito isso, com o aumento da procura por parte das pessoas, conseqüentemente, houve um grande aumento na demanda de serviço da Minas Energia, e para atender aos clientes, prestando serviços de qualidade e de forma eficiente, viu-se que era necessário um melhor dimensionamento e distribuição das equipes de obras. Aliado à utilização do *software* Arena, que permite montar modelos computacionais, gerar relatórios a partir das simulações feitas e, posteriormente, fazer as análises dos resultados gerados, o presente trabalho tem por intuito simular o cenário base da empresa, e, a partir do relatório gerado, propor um segundo cenário, no qual a empresa trabalhe de maneira mais eficiente, com melhor dimensionamento e distribuição das suas equipes.

**Palavras-chave:** Usina solar fotovoltaica, Arena, simulação computacional, dimensionamento de equipes.

## **ABSTRACT**

The constant increases in energy tariffs, aggravated by natural causes, such as the great droughts that. consequently, they are reflected in extra fees and a higher value on the energy bill. People have been changing their thinking, becoming more interested in purchasing their own photovoltaic solar plant. That said, with the increase in demand from people, consequently, there was a large increase in the demand for Minas Energia's service, and to serve customers, providing quality and efficient services, it was seen that a better sizing and distribution of construction teams. Combined with the use of the Arena software, which allows the creation of computational models, generating reports based on the simulations carried out and, subsequently, analyzing the results generated, the present work aims to simulate the company's base scenario, and, based on the report generated, propose a second scenario, in which the company works more efficiently, with better sizing and distribution of its teams.

**Key words:** Photovoltaic solar plant, Arena, computer simulation, team sizing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil .....	11
Figura 2: Matriz energética brasileira .....	12
Figura 3: Potência instalada acumulada por país .....	13
Figura 4: Potência instalada por estado .....	14
Figura 5: Principais benefícios da energia solar para o Brasil .....	15
Figura 6: Disposição dos painéis fotovoltaicos.....	21
Figura 7: Chegada e saída dos cabos no inversor .....	22
Figura 8: Caminho percorrido pelos cabos para chegada no ponto de energia .....	22
Figura 9: Metodologia do Processo de Simulação.....	24
Figura 10: Processos envolvidos na execução de uma usina solar .....	26
Figura 11: Distribuição Beta.....	27
Figura 12: Distribuição Erlang .....	28
Figura 13: Distribuição Exponencial .....	28
Figura 14: Distribuição Normal.....	29
Figura 15: Distribuição Poisson.....	29
Figura 16: Distribuição Triangular .....	30
Figura 17: Distribuição Weibull .....	30
Figura 18: Modelo computacional da negociação até chegada do equipamento .....	31
Figura 19: Modelo computacional da execução da usina solar fotovoltaica.....	32
Figura 20: Disposição do resources nos PROCESS relacionados a execução das usinas.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos Problemas de Roteamento.....	25
Tabela 2: Utilização Programada.....	35
Tabela 3: Número total dimensionado.....	36
Tabela 4: Quantidade em espera.....	37
Tabela 5: Tempo de espera do cenário base .....	38
Tabela 6: Tempo de espera do cenário proposto 1. ....	40
Tabela 7: Tempo de espera do cenário proposto 2. ....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Utilização programada.....	36
Gráfico 2: Número total dimensionado.....	37
Gráfico 3: Quantidade em espera.....	38
Gráfico 4: Tempo de espera.....	40

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. OBJETIVOS.....	17
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.2. JUSTIFICATIVA .....	17
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	23
4. DESENVOLVIMENTO.....	26
4.1. OBJETO DE ESTUDO .....	26
4.2. MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA.....	26
4.3. INFERÊNCIA E TESTE DE ADERÊNCIA.....	26
4.4. MODELO COMPUTACIONAL.....	31
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	33
5.1. TESTES COMPUTACIONAIS.....	33
5.2. CENÁRIO BASE .....	33
5.3. CENÁRIO PROPOSTO 1 .....	34
5.4. CENÁRIO PROPOSTO 2.....	34
6. CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	42

## 1. INTRODUÇÃO

O seguinte Trabalho de Conclusão de Curso (ATV030) dissertado a seguir tem o intuito de simular, analisar a eficiência e o nível de serviço de equipes de execução de projetos de energia solar fotovoltaica. Por meio da simulação a eventos discretos, implementando um modelo computacional no *software* Arena, é possível se chegar a um número e disposição ideal, ou próximo a isso, de funcionários necessários para atender a demanda atual de uma empresa integradora do ramo de sistemas de energia solar fotovoltaica localizada na região da Zona da Mata de Minas Gerais.

Com o aumento da tarifa de energia elétrica a cada ano, os consumidores passaram a buscar novos meios para amenizar os custos com as contas de energia, que, conseqüentemente também estão ficando mais caras, influenciados por vários fatores. A temperatura média anual, que vem aumentando, faz que o uso de ventiladores, aparelhos de ar condicionado, umidificadores, entre outros, seja cada vez maior, pois servem como uma forma de aliviar o calor. Além disso, existem cada vez mais aparelhos eletrônicos que dependem da energia elétrica para funcionar, ou recarregar, e isso não acontece só nas residências, como também nos comércios, zonas rurais e indústrias, pois com todo o desenvolvimento tecnológico elas se equipam mais e mais com os novos maquinários com o intuito de aumentar a produção, reduzir custos, melhorar a qualidade, nível de serviço.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar, no ano 2019, o Brasil vem tendo uma grande aderência à geração de energia solar fotovoltaica que saltou de 50 mil sistemas no final de 2018 para 100 mil sistemas até metade do ano de 2019, ou seja, dobrou o número de instalações em um curto espaço de tempo, sendo que os projetos residenciais representam 74% do total, setor de comércio e serviço 17,2%, em áreas rurais 5,4%, industriais 2,8%, poder público 0,6%.

Alguns dados da Agência Nacional de Energia Elétrica no ano de 2019, mostram que em um mapeamento feito no ano de 2019 o país possuía cerca de 12 mil empresas de instalação de sistemas fotovoltaicos, o que representa um o crescimento na produção de energia solar fotovoltaica. Mesmo com esse crescimento, a expansão da energia fotovoltaica ainda é muito pequena se comparada às outras fontes de geração de energia.

A Figura 1 mostra a evolução da potência total instalada das usinas solares fotovoltaicas ao longo dos últimos 10 anos no Brasil, divida em geração centralizada e

geração distribuída, demonstrando que a segunda vem apresentando um crescimento mais expressivo acentuado principalmente de 2019 até os dias atuais.

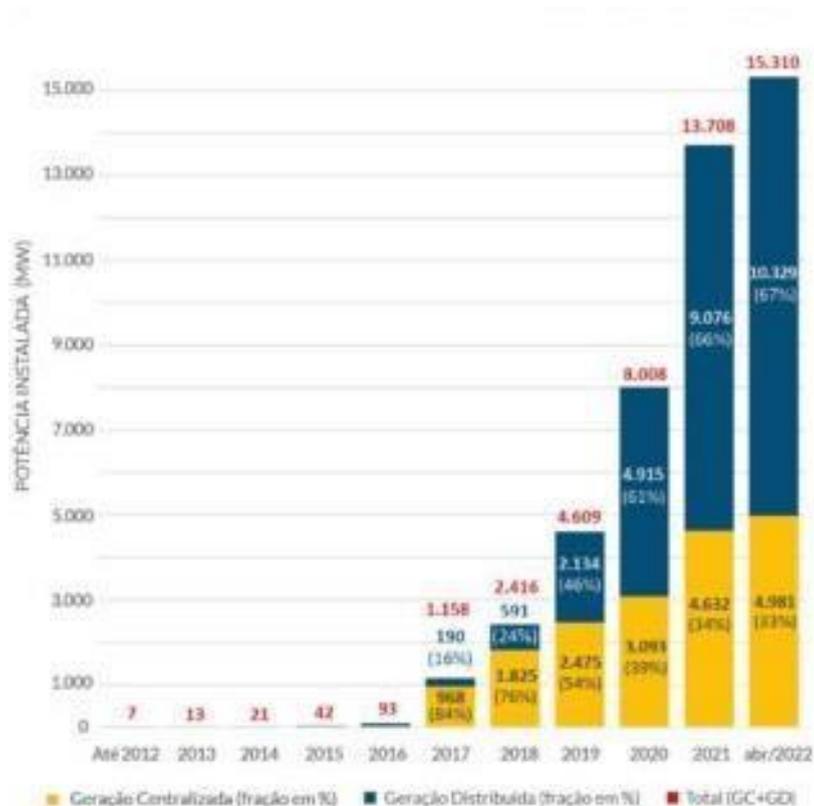


Figura 1: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ABSOLAR (2022)

Em janeiro de 2017, havia 27,8 Megawatts produzidos, equivalia a menos de 0,01% de toda matriz elétrica, já em setembro de 2018, subiu para 1.322,1 Megawatts, que correspondia a 0,83%. A biomassa, no mesmo período analisado, produzia 14.674,2 Megawatts, sendo 8,8%, provenientes da eólica 13.340,9, também 8%, e as pequenas centrais hidrelétricas 5.117,5 Megawatts, o que representa 3,2%. Seguindo o crescimento ano a ano, agora em 2022 a energia solar fotovoltaica chega ao correspondente de 7,6% da matriz energética brasileira.

A Figura 2 mostra a matriz energética brasileira e qual a porcentagem que cada setor produtor de energia contribui para o total. Para entender melhor o cenário atual da energia solar fotovoltaica no Brasil é importante comparar ao restante do mundo e, assim, ter uma melhor ideia da produção em outros países e entender qual potencial de expansão no Brasil, pela sua grande extensão territorial e localização em uma região com uma boa incidência solar.



Figura 2: Matriz energética brasileira

Fonte: ABSOLAR (2022)

A Figura 3 representa a capacidade adicionada e a capacidade instalada acumulada no ano de 2021 nos países que possuem maior destaque em energia solar fotovoltaica no mundo. Quanto à capacidade adicionada, é possível observar que o Brasil ficou entre os principais do mundo, mas levando em consideração a capacidade instalada acumulada, ainda há muito a evoluir, visto que o país ocupa a 13ª posição, atrás de países com extensão territorial muito menor, ou seja, menor disponibilidade de local para implantação das usinas solares fotovoltaicas.



Figura 3: Potência instalada acumulada por país

Fonte: ABSOLAR (2022)

Além situar o Brasil em relação ao restante do mundo, também é importante olhar como é o cenário de acordo com os estados, quanto é a potência instalada em cada um, para conseguir entender como eles se comportam, pelo fato de ser algo que traz economia desde as residências até as indústrias, sendo o segundo chegando a gerar vantagem competitiva frente aos seus concorrentes devido a diminuição dos custos. E, por fim, poder analisar se tem alguma relação dos estados que são os mais desenvolvidos, de maior PIB serem os que têm maior potência instalada ou não.

A Figura 4 mostra o *ranking* estadual da geração distribuída, de acordo com a potência instalada de cada estado brasileiro.

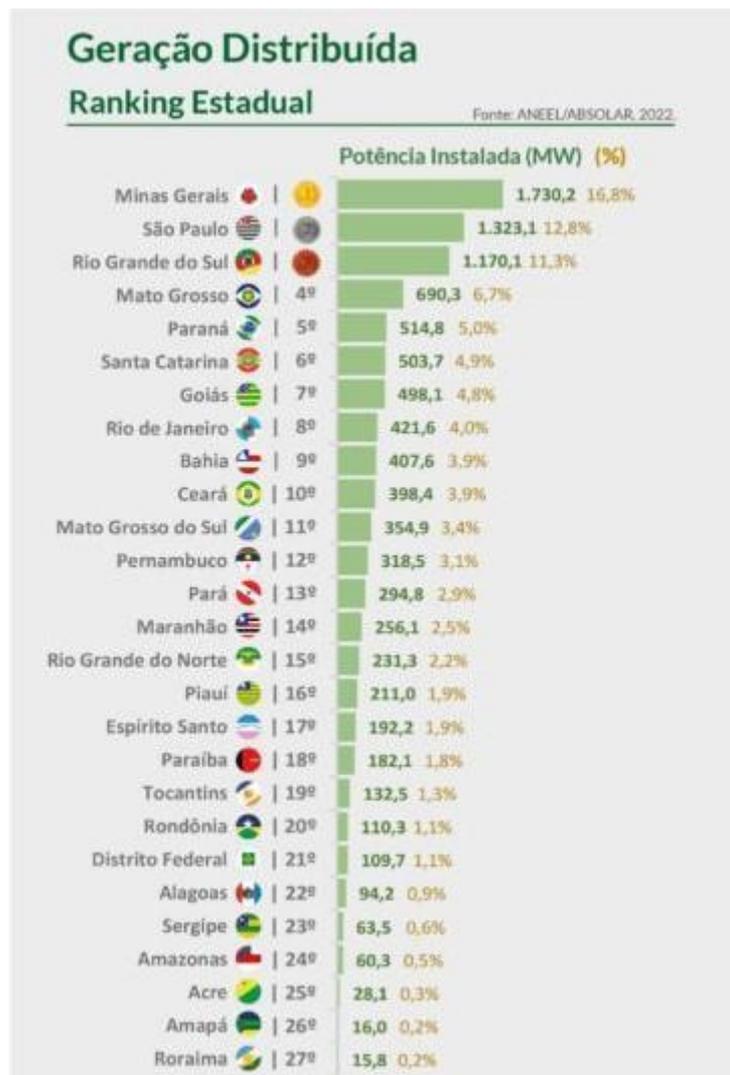


Figura 4: Potência instalada por estado

Fonte: ABSOLAR (2022)

Após situar o cenário do Brasil em relação ao mundo e o cenário interno, se faz necessário elencar os benefícios que a energia solar fotovoltaica traz para o país além da questão financeira, porque nem sempre algo que traz somente o benefício financeiro se torna positivo quando abrange o impacto que irá causar em outras áreas.

Pensando nesses pontos, a Figura 5 ilustra os principais benefícios que a energia solar traz para o Brasil.



Figura 5: Principais benefícios da energia solar para o Brasil

Fonte: ABSOLAR (2019)

Para realização de um projeto, há o enfrentamento de obstáculos, começando com a burocracia relacionada à documentação necessária para se enviar à concessionária de energia, já que fazer o projeto elétrico é necessário realizar visitas técnicas para recolher as informações necessárias, além da documentação que, de tempos em tempos, é necessário anexar novos documentos e, posteriormente, haja a liberação ou não o projeto para execução. Quando ocorre do projeto não ser aceito, pode ser pela necessidade de realizar alguma obra na rede elétrica, troca do transformador da rua, zona rural ou onde quer que seja o local da realização do projeto; Nos casos mais extremos, a concessionária pode se recuar a arcar com os custos dessas obras. Quando se faz necessário que o cliente arque com parte dos custos, ele pode ou não concordar e, caso não concorde, o projeto é cancelado. Em casos mais simples, basta realizar troca do padrão, corrigir o cadastro no sistema da concessionária, entre outros.

Em relação aos equipamentos, a dificuldade se encontra pelo fato não haver muitos fornecedores disponíveis no país, que comercializam equipamentos com a qualidade que a empresa em questão exige. E, no que diz respeito à duração da execução do projeto, esta varia de acordo com o número de painéis a serem instalados, se é necessário fazer estrutura de solo ou algum reforço no telhado e também pelo clima, pois com chuva ou temporais, as etapas de instalação relacionadas à montagem da estrutura e fixação do painéis tem de ser interrompidas imediatamente, visando à segurança dos colaboradores, sendo possível executar apenas as atividades relacionadas

à parte elétrica do projeto, que em sua maior parte é interna, como a passagem de cabos, fixação de eletrodutos, inversores, mas sem que nada seja ligado a rede.

Por último, depois de montada a usina, é feita a solicitação da vistoria junto a concessionária de energia responsável pelo fornecimento da energia da região onde a mesma foi instalada, e que também pode ou não ser aprovada. Caso não seja, tem de ser feitos os ajustes necessários, conforme o que foi passado pelo responsável do procedimento de vistoria para ligar a usina fotovoltaica.

A realidade da empresa em questão, é executar vários projetos em paralelo, dividindo a equipe de obras em duas, sendo uma responsável pela montagem da estrutura e fixação dos painéis e a outra equipe é responsável pela parte elétrica, que fazem todas ligações e coloca o sistema pra funcionar. Tudo tem que ser feito dentro do planejamento inicial, seguindo o croqui feito pelo engenheiro responsável, não deixando escapar nenhum detalhe, pois caso haja erro na execução do projeto, vai acontecer de alguma das equipes ficarem paradas, causando perda de dinheiro para a empresa, devido à ociosidade de parte da equipe.

Levando em consideração os pontos abordados no que se refere às equipes envolvidas na execução dos projetos, pode-se dizer que são equipes multidisciplinares, pois pois são formadas por trabalhadores podem ser especializados em uma área específica, mas eles possuem conhecimentos abrangentes, que envolvem soldagem, serralheria, montagem, elétrica, construção civil, além de ser necessário a NR35, treinamento de trabalho em altura, NR12, treinamento de máquinas e equipamentos.

Por esse motivo se faz importante a utilização da simulação no auxílio na tomada de decisão na configuração e dimensionamento das equipes, pois a simulação permite prever o progresso ou atraso das equipes, os locais onde serão formadas filas, possibilitando uma previsão mais assertiva do andamento até o término dos projetos. A simulação também pode mostrar se é realmente necessária a contratação de novos funcionários e a criação de mais equipes de obra, já que atualmente a empresa fecha mais contratos de projeto do que conclui, ou seja, a execução dos projetos vai se tornar então o grande gargalo da empresa e precisa ser sanado o mais rápido possível, para que não o acúmulo de projetos formando uma grande fila e conseqüentemente a demora na execução dos mesmos.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo de simulação a eventos discretos com auxílio do *software* Arena para avaliar o processo de tomada de decisão quanto ao dimensionamento de equipes de execução de projetos de uma empresa integradora do ramo de energia solar fotovoltaica.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Coletar, analisar e utilizar os dados de uma empresa;
- ✓ Identificar os problemas a partir de documentos existentes na organização, bem como as análises *in loco* para medição dos tempos, entendimento dos fluxos em cada etapa e entrevistas com os funcionários, buscando entender tudo que envolve o processo da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica;
- ✓ Desenvolver um modelo de simulação no Arena utilizando os dados obtidos;
- ✓ Realizar um estudo de cenários para as equipes, levando em conta a configuração atual de trabalho;
- ✓ Comparar os resultados obtidos no *software* Arena com os dados atuais da empresa.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Com o crescente aumento das tarifas cobradas pela energia elétrica, que vem ocorrendo nos últimos anos, os consumidores passaram a buscar alternativas, visando diminuir o gasto com energia elétrica, já que hoje, com a infinidade de aparelhos eletrônicos que existem, a tendência é aumentar o consumo com o passar dos anos. Uma dessas possibilidades vem sendo investir em energia solar que, apesar de ter um alto valor de instalação, é um investimento certo, que com o passar do tempo será pago pela diferença entre a conta que o consumidor pagava anteriormente e a taxa mínima que ele passará a pagar depois do projeto instalado, ou seja, a tendência da energia solar fotovoltaica é de crescer a cada ano que se passa.

O ramo da energia solar fotovoltaica apresenta alguns pontos relevantes, que têm de ser levados em consideração quanto à parte da gestão do projeto como um todo, principalmente por acabar sendo refém do clima, por assim dizer, já que no caso das

instalações em telhados, em alturas elevadas, caso haja chuva ou ventos muito fortes, a instalação dos painéis solares tem de parar imediatamente, pois é muito perigoso para os funcionários executarem o serviço, mesmo com todos os equipamentos de proteção individual que utilizam, além do risco de danificar os equipamentos que possuem custos elevados. Essa situação também é válida quando está sendo feita uma estrutura de fixação no solo, pois esse tipo de estrutura geralmente é feita em áreas rurais, e com o tempo chuvoso se forma barro no solo, impossibilitando os funcionários tanto de carregar os equipamentos quanto de fazer a bases das estruturas no solo. Outros fatores não menos importantes, só que mais fáceis de contornar, são os poucos fornecedores existentes no mercado, fazendo que com as empresas dependam da disponibilidade deles para a compra dos equipamentos, e pode ocorrer a falta dos equipamentos nos mesmos, não tendo a quem recorrer, pois quando ocorre a falta é devida à falta do fornecimento vindo da China, que é onde a grande parte dos equipamentos são produzidos. E, por último, é a dificuldade de encontrar a mão de obra especializada para poder formar uma equipe de mão de obra multidisciplinar, devido ao fato de o ramo ser algo que pode ser considerado novo, então é difícil achar pessoas já com experiência anterior no setor.

Por isso se faz muito importante o Engenheiro de Produção dentro dessas empresas, para cuidar da parte da gestão e execução dos projetos, visto que o ramo apresenta, sim, algumas incertezas bem relevantes para o andamento dos projetos executados. Para poder fazer um levantamento e análise dos dados que envolvem o processo, achar os gargalos e criar planos de ação para poder saná-los, com isso otimizar o processo diminuindo o tempo total médio de execução, reduzir os custos e aumentar a eficiência e o nível de serviço prestado.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O seguinte trabalho está dividido em seis capítulos, sendo que no primeiro capítulo se discorre sobre a energia solar fotovoltaica, com o intuito de contextualizar o assunto e o porquê de ser escolhido como problema para o presente trabalho, além de apresentar os objetivos, justificativa e estrutura do mesmo.

No segundo e terceiro capítulos, respectivamente, são tratados a metodologia e conceitos envolvidos para a realização do estudo, deixando forma mais clara e evidente o que está sendo tratado. No quarto, é tratado o desenvolvimento do trabalho, objeto de

estudo, tratamento dos dados e o modelo computacional adotado. Para finalizar, nos dois últimos capítulos são abordadas a análise dos resultados e a conclusão acerca do trabalho.

## **2. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Atualmente é possível encontrar na literatura diversas formas para poder classificar e descrever uma pesquisa levando em consideração os pontos que a norteiam, como o tipo de abordagem que ela possui, quanto a sua natureza, seus objetivos e procedimentos utilizados para construção da mesma.

Destrichando os quatro vieses para a classificação, a pesquisa em questão pode ser classificada com uma pesquisa quantitativa empírico-descritiva. Primeiramente, quanto à abordagem, é considerada quantitativa pelo fato de focar em análises e resultados mensuráveis, que ao seu final vão poder ser quantificados para ajudar nas conclusões se baseando neles. Segundo Fonseca (2002) esta abordagem utiliza da linguagem matemática para retratar as causas de um fenômeno, analisar as relações de causa e efeito existentes entre as variáveis, eliminar o subjetivismo na apreensão e interpretação dos dados, e etc.

Quanto à natureza da pesquisa, como citado acima, ela é empírico-descritiva, visto as necessidades que a rodearam para se chegar ao seu objetivo, tendo de ser feita a coleta, manipulação e análise dos dados, informações e peculiaridades que envolvem todo o entorno de empresa que foi estudada e, a partir dos dados e informações adquiridas, foi possível criar o modelo que conseguiu descrever de forma condizente com a realidade da mesma. E, com isso, a partir do uso do *software* conseguir ter melhor entendimento dos processos, das relações entre eles assim como elas ocorrem.

Visto os conceitos acerca do trabalho, o estudo tem caráter de pesquisa aplicada, pois tem objetivo de solucionar o gargalo de uma empresa relacionado a execução das obras e visa chegar ao melhor dimensionamento de equipes de execução de projetos de energia solar fotovoltaica, com auxílio do *software* Arena para realizar a simulação de todo processo, baseado no cenário atual da empresa, bem como a criação de outros cenários para servirem de comparação ao atual. A partir da comparação e análise dos resultados gerados pelos relatórios do *software* Arena, e assim, chegar no número ideal de equipes, ou próximo a ele, bem como a disposição delas, dentro dos cenários em

questão.

A coleta dos dados foi feita por meio de entrevistas com os funcionários da equipe de obra, buscando entender as dificuldades enfrentadas no dia a dia, mas principalmente de maneira *in loco*, a partir de observações e medições dos tempos gastos para a realização da instalação do projeto. A instalação envolve disposição e fixação dos perfis no telhados, onde posteriormente os painéis vão ser fixados, a fixação dos mesmos, da *string box* e do inversor, todo o cabeamento necessário para ligar os painéis nas *string box* e das *string box* para o inversor e, por fim, do inversor no ponto de energia mais próximo do local onde a usina foi instalada, seja no telhado ou no solo, geralmente são ligados no quadro de distribuição ou no padrão.

Em alguns projetos maiores, em que o local tem um alto custo, é necessário um maior número de painéis, e se deve acrescentar uma etapa nesse processo, que ocorre depois de ligar os cabos da *string box* no inversor. É necessário ligar o inversor em um transformador com o papel de abaixar a tensão de 380V, que chega do mesmo, para 220V, que é a compatível com a da rede da maior parte dos locais onde a empresa em questão instalou as usinas. Para finalizar, é necessário puxar um cabo do transformador para ligar no ponto de energia mais próximo para ser feita a distribuição da energia gerada. Além disso, tem os projetos específicos, geralmente nas áreas rurais, que além de todos esses passos, é necessário fazer uma estrutura de solo para servir de base para a fixação dos painéis, por dois fatores: um deles é a questão do telhado, quase sempre são mais antigos e, o outro, que pode se considerar até mais importante, é que por ter espaço disponível ser torna vantagem a estrutura, por possibilitar adequar para que a usina seja feita com o melhor posicionamento dos painéis para ter uma geração melhor e mais eficiente. Posteriormente seguir todos os passos já citados para a realização do projeto. Como se pode ver, a realização dos projetos envolve algumas peculiaridades, de acordo com o local ou tamanho.

Para facilitar o entendimento de todo os processos da instalação, citado acima, as Figuras 6, 7 e 8 mostram as imagens de um croqui utilizado pela empresa, que engloba a fixação e disposição dos painéis em um telhado de uma instalação, e também como é feita a parte elétrica no projeto.

Na Figura 6 é exibida a disposição dos painéis no telhado, como é feita a ligação entre eles, e por onde passarão os cabos que saem dos painéis e vão para o inversor.



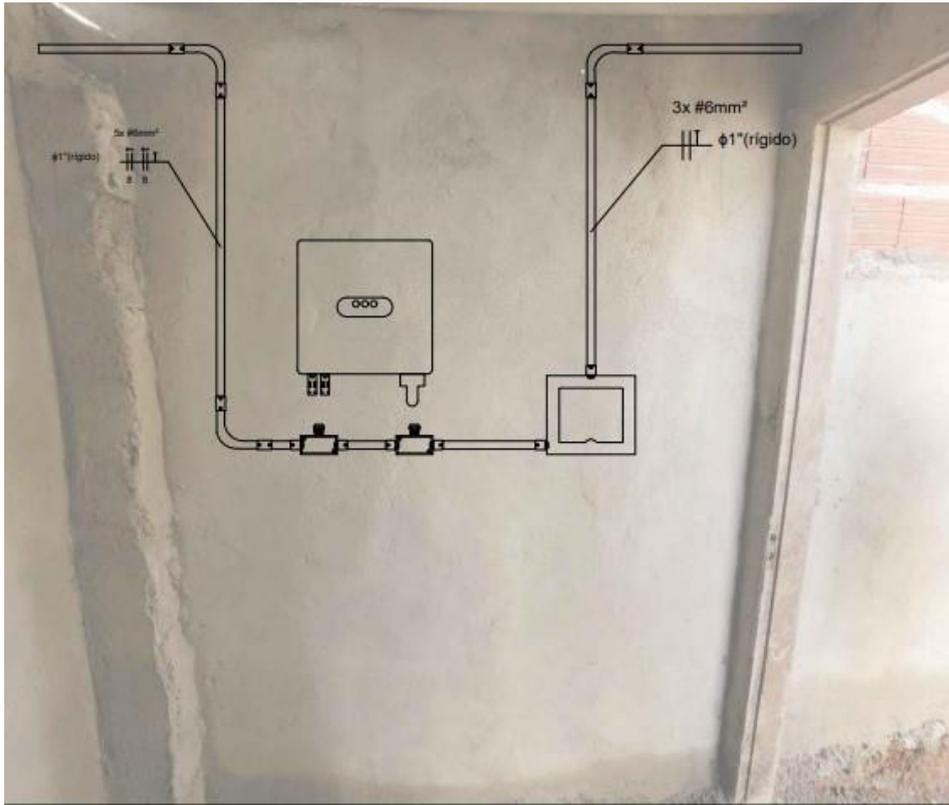


Figura 7: Chegada e saída dos cabos no inversor

A Figura 8 mostra o caminho que os cabos vão percorrer até o ponto de energia mais próximo, para serem conectados e injetar na rede a energia produzida pela usina.



Figura 8: Caminho percorrido pelos cabos para chegada no ponto de energia

Coletados os dados referentes à instalação do sistema fotovoltaico, deve-se ainda

levar em conta mais alguns pontos que fazem parte do processo como um todo, que são a elaboração do projeto elétrico, que deve ser entregue à CEMIG, para que seja aprovado ou não. Após concluída a instalação do sistema, é necessária uma vistoria por parte da CEMIG ou empresa terceirizada, para confirmar que o projeto foi executado corretamente de acordo com o projeto enviado. Com todos dados em ordem, foi feita então a implementação computacional no Arena, que é um *software* com um ambiente gráfico integrado de simulação, permitindo que seja feita a simulação e a modelagem integrando todas as etapas dos processos. A partir disso, fazer diferentes análises como linha de produção de uma empresa, processos industriais e análise de filas, a partir disso auxiliar na tomada de decisão, sendo válida ou não, caso a empresa deseje realizar alguma mudança na configuração da maneira como trabalha, pois ele permitiria prever como se comportaria com as mudanças desejadas.

Para concluir, depois de criado o cenário base, foi feita a simulação para saber como a empresa se comporta no cenário atual e poder verificar e validar se está de acordo com a realidade. Posteriormente, criou-se os cenários alternativos, adotando outras disposições das equipes de trabalho e após feita a simulação foi analisado como se comportam em cada cenário de acordo com os relatórios gerados pelo Arena e por fim chegar no melhor dimensionamento para as equipes de trabalho entre os cenários analisados.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo Chwif e Medina (2006), estudos de simulação buscam responder a perguntas sobre operações por meio de uma modelagem computacional, portanto, a intenção principal da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão. Um estudo de simulação é formado por três grandes etapas, segundo Chwif e Medina (2006):

1. Concepção ou formulação do modelo: São analisados os objetivos, determinado o escopo do modelo, suas hipóteses, o nível de detalhamento. Nesta fase os dados de entrada são coletados (cuidado com GIGO - *garbage in, garbage out*). O modelo deve dirigir a coleta de dados, não o contrário. O resultado desta etapa é representado por um modelo conceitual deve ser finalizado e compreendido por todos

envolvidos;

2. Implementação do modelo: O modelo conceitual é convertido em modelo computacional. Nesta etapa são executadas tarefas de V&V - verificação e validação. A verificação está relacionado ao *debugging*, ou seja, se o modelo se comporta conforme projetado. Já a validação garante que o modelo se comporta como o sistema real modelado;
3. Análise dos resultados do modelo: Nesta etapa se tem o modelo operacional, que está pronto para a realização de experimentos. A experimentação e análise consiste em executar rodadas e coletar estatísticas. As análises podem ser candidatas, comparativas ou preditivas.

As três grandes etapas envolvidas nos estudos de simulação são apresentadas na Figura 9.

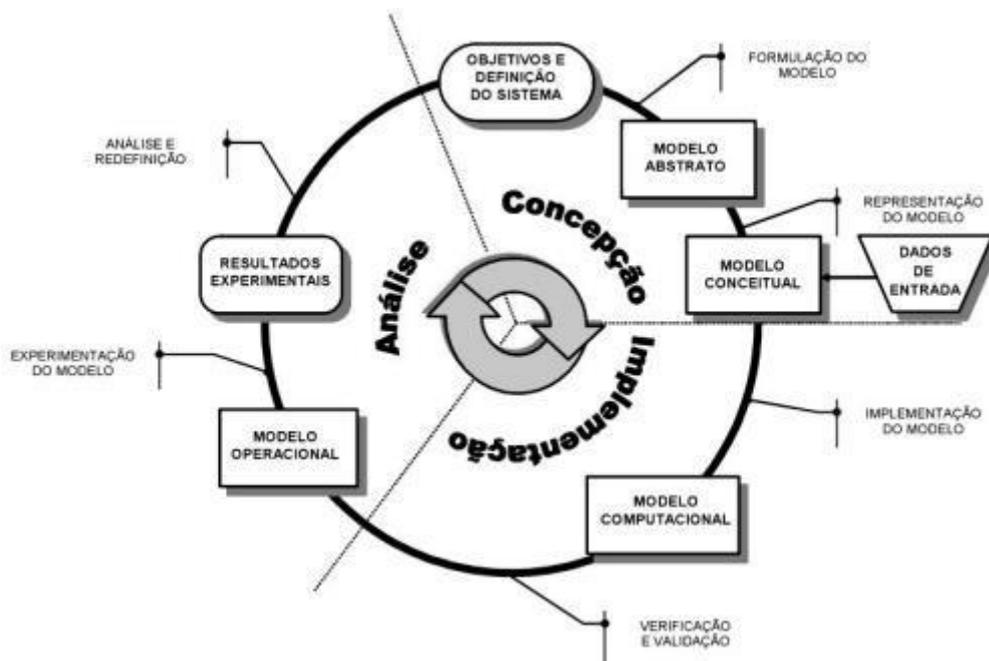


Figura 9: Metodologia do Processo de Simulação

Fonte: CHWIF E MEDINA (2006)

A partir de estudos de outros materiais, pode-se perceber que nos problemas envolvendo a utilização da simulação para dimensionamento de equipes em empresas de energia elétrica podem levar em consideração o problema de roteamento de veículos, que pode ser definido como um conjunto de clientes que deverão ser atendidos pela

frota de veículos, levando em conta as restrições definidas previamente, envolvendo as áreas de logística, transporte e distribuição.

Segundo Ballou (1993), um sistema completo de logística envolve todas as atividades necessárias para administrar o fluxo de bens e serviços do ponto de onde são produzidos até o ponto aonde serão consumidos. Tendo como atividades primárias o transporte, a manutenção de estoques e o processamento de pedidos. No caso deste estudo, pode-se entender como deslocamento, equipes de instalação e os contratos fechados para a prestação de serviços.

Bodin *et al.* (1983), definem o problema de roteamento de veículos como uma classe de problemas que envolvem visita a clientes por veículos e no qual um custo mínimo para esse atendimento deve ser obtido. Nessa classe incluem os seguintes problemas: problema do caixeiro viajante; problema do carteiro chinês; problema do *m*-caixeiro viajante; problema de roteamento com um depósito e múltiplos e problema de roteamento com múltiplos depósitos e múltiplos veículos. A seguir, na Tabela 1, os autores as características e restrições que podem estar presentes em cada um dos problemas citados:

Características	Possíveis opções
Tamanho da frota disponível	Um veículo; múltiplos veículos
Tipo de frota disponível	Homogênea; heterogênea
Domicílio dos veículos	Único depósito; múltiplos depósitos
Natureza das demandas	Estocástica; determinística
Localização das demandas	Nos vértices; nos arcos
Tipo de rede	Não-direcionada; direcionada; euclidiana
Restrições quanto à capacidade dos veículos	Capacidades iguais; capacidades diferentes; sem capacidade
Tempo máximo de duração da rota	O mesmo tempo para todas as rotas; diferentes para rotas diferentes; não imposto
Operação	Entrega; recolhimento; ambos
Custos	Variáveis por rota; fixos
Objetivos	Minimizar custo total das rotas; minimizar a soma dos custos fixos e variáveis; minimizar número de veículos requeridos

Tabela 1: Características dos Problemas de Roteamento

Fonte: Bodin et al. (1983)

No entanto, o problema que se deseja desenvolver apresenta ainda características de sequenciamento de projetos, tornando o problema mais complexo, pois o mesmo apresenta um maior número de restrições de alocação de tarefas e incertezas do que os problemas de roteamento de veículos.

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1. OBJETO DE ESTUDO

O presente estudo tem como objetivo montar um modelo de simulação computacional baseado na forma atual de trabalho da empresa, focando no dimensionamento e distribuição da forma de trabalhar das equipes de obras, e com isso a partir das análises propor um cenário de melhoria.

Seguem representadas, abaixo, na Figura 8, todas as etapas no processo da empresa até chegar a execução da obra, englobando desde a negociação com o cliente até a entrega da usina instalada.



Figura 10: Processos envolvidos na execução de uma usina solar

### 4.2. MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA

Após o objeto já ter sido definido com os processos envolvidos nele, nessa etapa do estudo tem de ser feita a organização e modelagem dos dados obtidos. Após a coleta feita *in loco*, cronometrando os tempos de cada um dos processos envolvidos, se faz necessária a modelagem, para obter o modelos das distribuições estatísticas que inferem em cada um dos processos envolvidos, e com isso, utilizar as distribuições que mais se adequam a cada um, para serem utilizadas no Arena.

### 4.3. INFERÊNCIA E TESTE DE ADERÊNCIA

Nessa etapa do estudo é realizada a identificação da melhor distribuição estatística que irá se encaixar a cada um dos processos, usando os tempos coletados *in*

*loco*. Para isso foi necessário o auxílio da ferramenta *Input Analyser* do *software* Arena, no qual a partir da importação dos dados no formato txt para a ferramenta, é possível fazer o teste e obter a distribuição que melhor se ajusta e sua respectiva equação em cada processo, para posteriormente ser usado em cada processo do *software* Arena, para então rodar o modelo de simulação computacional e analisar os resultados obtidos.

Depois de feitos todos os testes de aderência para identificar qual distribuição mais adequada para representação dos dados coletados, nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 a seguir têm exemplos de todas as umas das distribuições obtidas e usadas no modelo computacional.

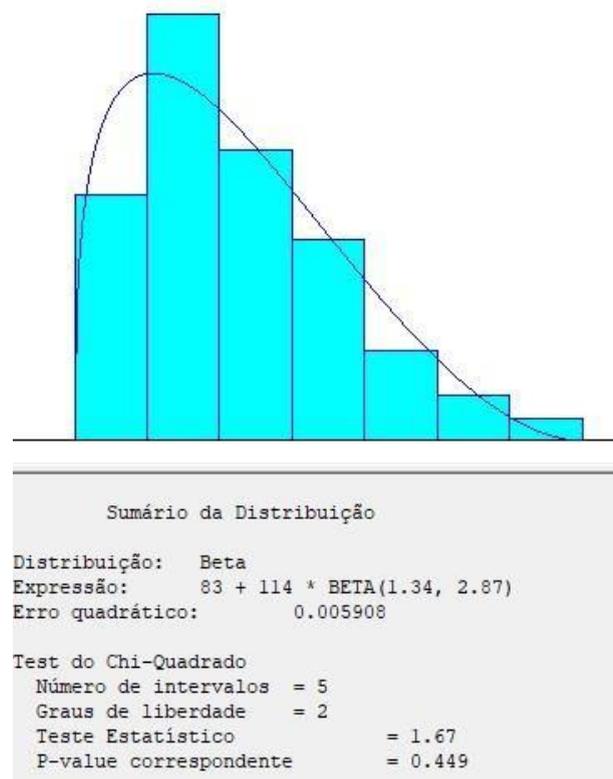


Figura 11: Distribuição Beta

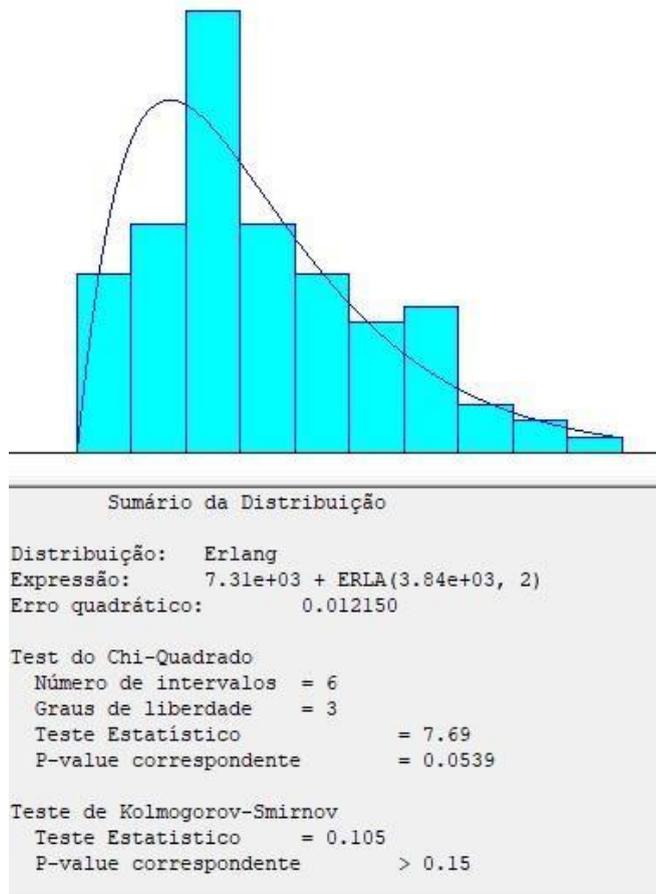


Figura 12: Distribuição Erlang

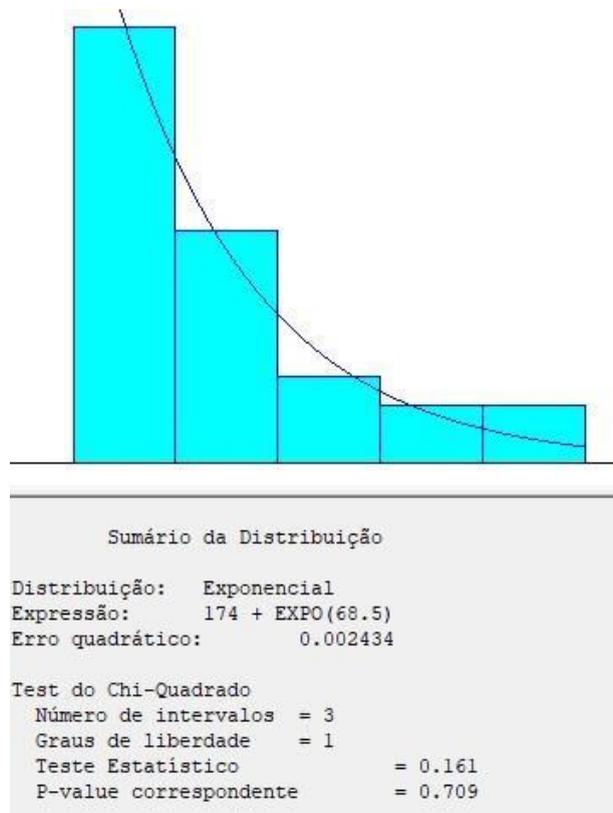


Figura 13: Distribuição Exponencial

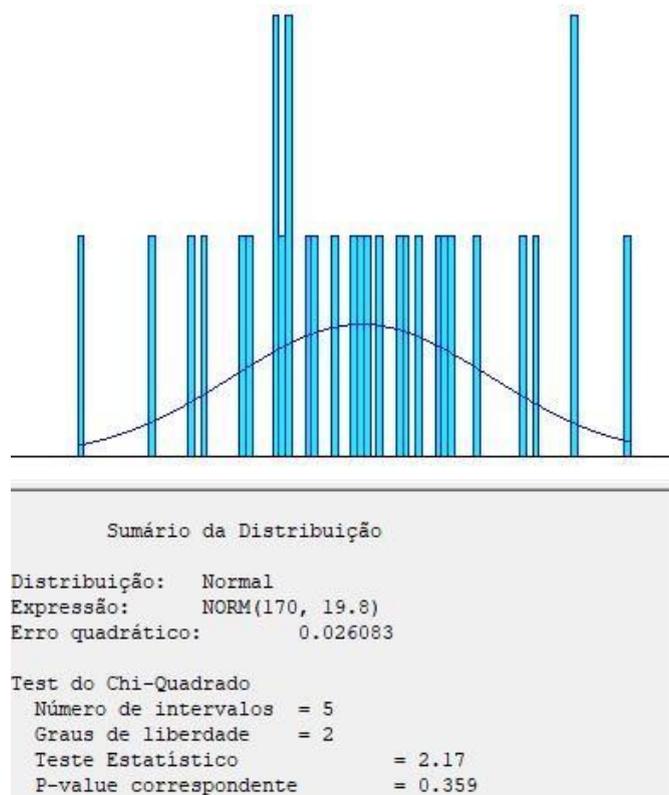


Figura 14: Distribuição Normal

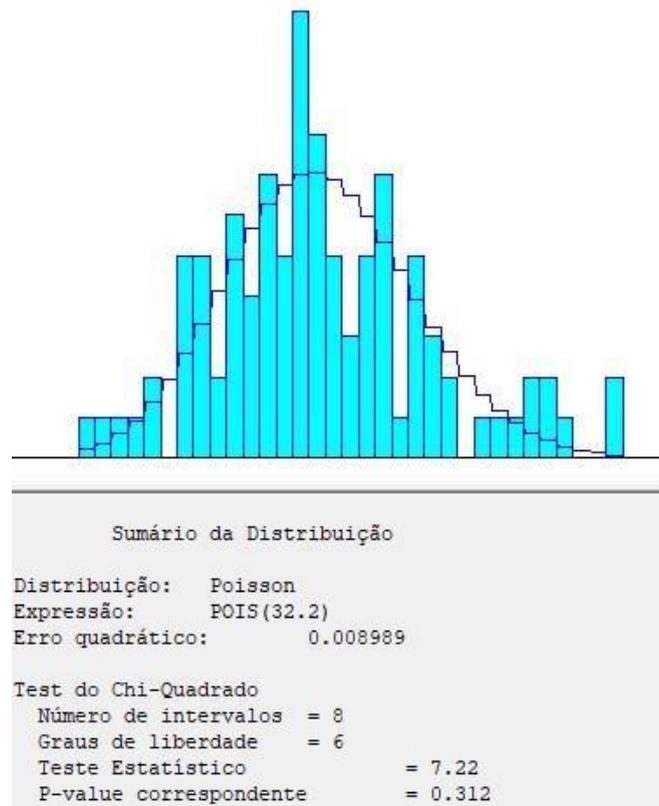


Figura 15: Distribuição Poisson

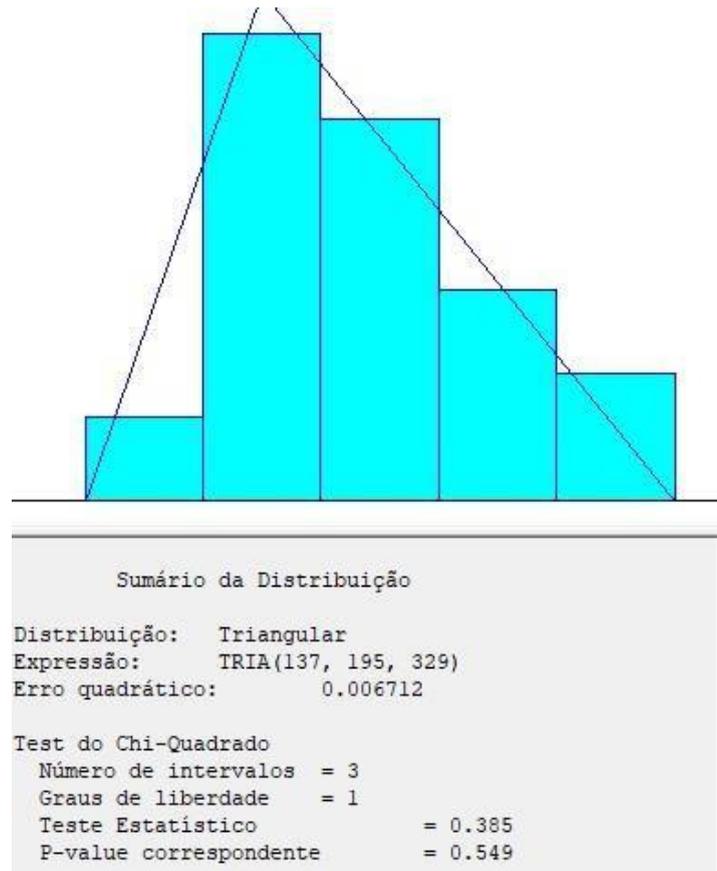


Figura 16: Distribuição Triangular

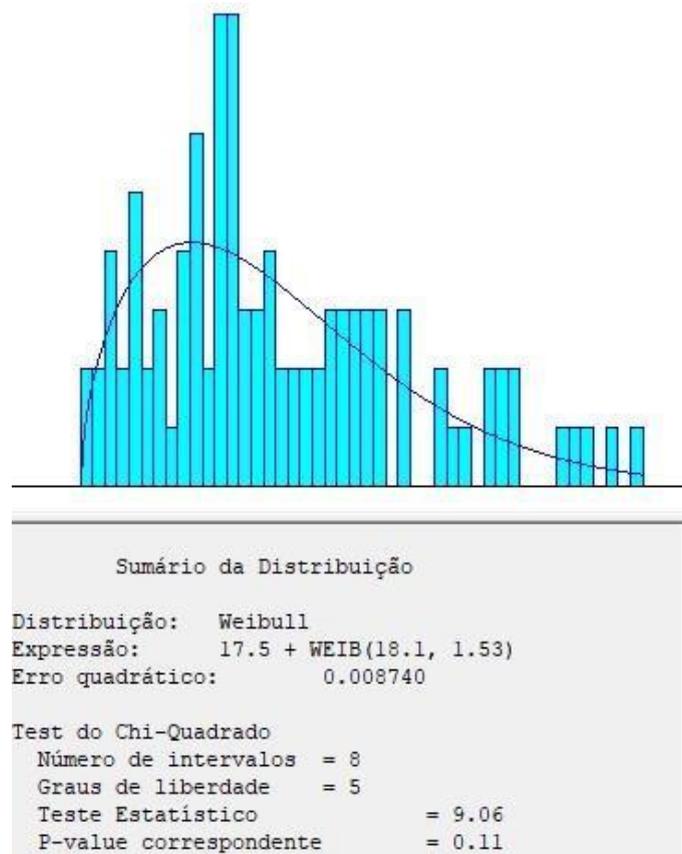


Figura 17: Distribuição Weibull

#### 4.4. MODELO COMPUTACIONAL

Antes mesmo da coleta dos dados já havia sido feito um esboço de como seria o modelo de simulação computacional, com intuito de ter uma base a seguir para a definir como seria realizado o processo da coleta, tabelamento e análise dos dados, pois se faz primordial o total entendimento de como funcionam, de ponta a ponta, os processos, desde a venda até a conclusão do projeto e como seria passado do papel para o *software* Arena, de modo que fosse funcional.

Após ter todos esses pontos definidos e os dados coletados, foi dado início ao desenvolvimento e à implementação do modelo no *software*, abrangendo desde a venda do projeto ao cliente até a entrega da usina solar fotovoltaica em funcionamento.

Devido ao fato do *software* Arena possuir uma capacidade limitada na versão para estudante, foi necessário dividir o modelo em duas partes, sendo a primeira representada pela Figura 18, que compreende o início do processo, o módulo CREATE representando o início da negociação. Logo após, o DECIDE serve para identificar se foi fechado negócio ou não. O PROCESS serve para representar a coleta dos documentos necessários para dar entrada no projeto. Depois, outro DECIDE para indicar qual tipo do projeto podendo ser residencial, rural, comercial ou industrial, outro PROCESS para indicar a entrada do projeto, outro DECIDE para a resposta positiva ou não. Caso não cai em um DECIDE, pode seguir para o PROCESS, que indica aguardar obra da CEMIG ou para o PROCESS, que indica o reenvio da documentação que esteja faltando. Caso seja aceito, segue para o DECIDE, que representa qual a estrutura será comprada junto ao *kit*, para telhado metálico, colonial, fibrocimento ou solo. Seguindo o fluxo, tem um PROCESS, que representa a compra do *kit* com a estrutura de fixação correspondente, e para finalizar, o PROCESS indicando o transporte até a chegada, que é representada pelo DISPOSE.

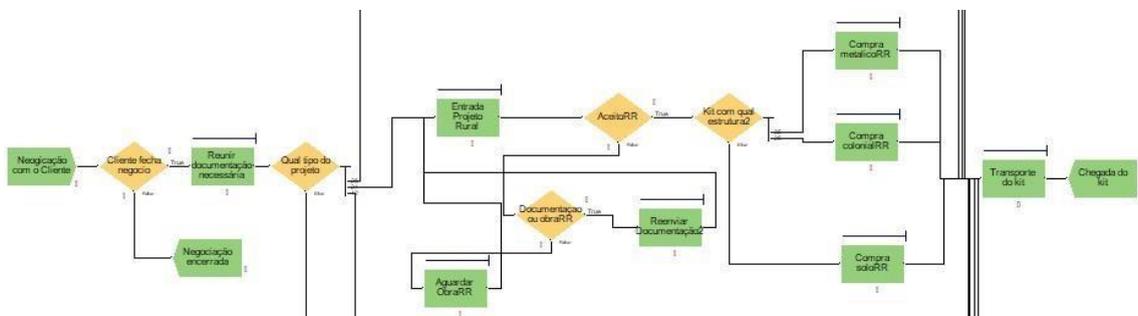


Figura 18: Modelo computacional da negociação até chegada do equipamento

Já na Figura 19, é representada a segunda parte do modelo computacional, começando com o CREATE representando a chegada do *kit* de equipamentos. Depois, vêm dois DECIDES, o primeiro para indicar qual tipo do projeto dentre as quatro opções, o segundo para indicar qual o tipo de estrutura foi comprada junto ao *kit*. Em seguida, tem-se uma sequência de sete PROCESS, indicando alinhamento da estrutura, montagem da mesma, alinhamento do primeiro painel, alinhamento do restante, fixação dos painéis, fazer parte elétrica e pedir a vistoria da usina. Passando todos eles, tem um DECIDE, representando se o projeto foi ou não aprovado. Caso não seja, volta para o PROCESS, que é fazer a adequação necessária para pedir vistoria novamente. E para finalizar, sendo aprovado, tem o DISPOSE correspondente a usina em funcionamento.

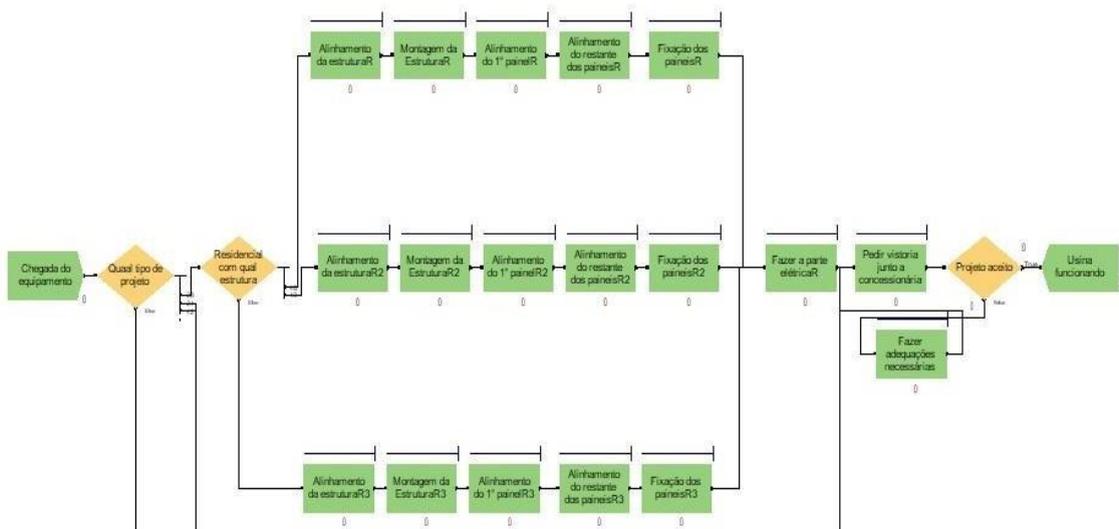


Figura 19: Modelo computacional da execução da usina solar fotovoltaica

Na Figura 20, está a configuração dos recursos, que vão representar os integrantes da equipe nos processos referentes a execução das obras no cenário base, que no caso, todos trabalham juntos, formando uma única equipe de execução.

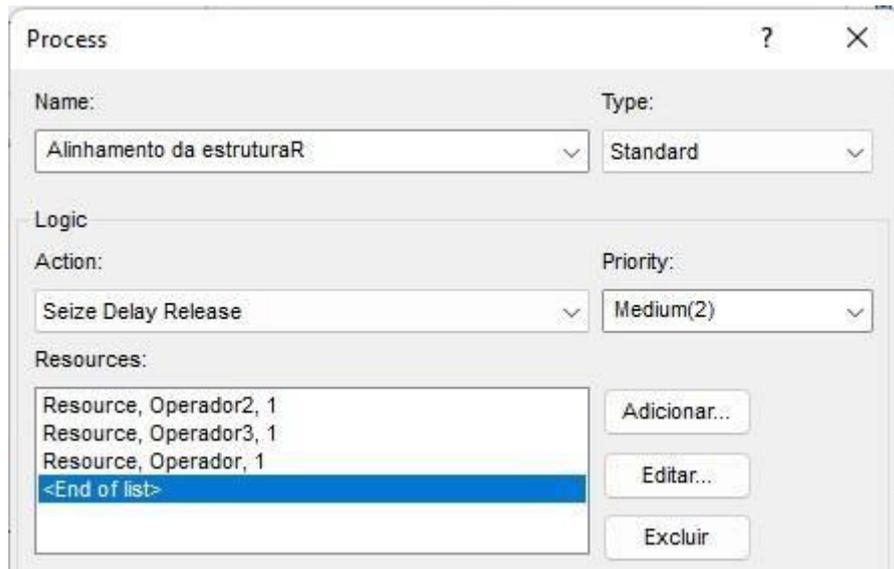


Figura 20: Disposição do resources nos PROCESS relacionados a execução das usinas

Algumas particularidades do modelo computacional são que, dentre o tipos de projetos, nem todos têm *kits* comprados com todos os tipos de estruturas. No caso dos projetos residenciais, é excluída a compra da estrutura para solo, nos rurais e comerciais é excluída a estrutura para telhado de fibrocimento e, nos projetos industriais, são excluídas as compras de estruturas para telhado colonial e de fibrocimento, devido ao fato de que nunca houve a ocorrência dos *kits* com essa configuração na empresa. Então, não se faz necessário considerá-las.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1. TESTES COMPUTACIONAIS

Depois de montar e configurar todo o modelo de simulação computacional, passou-se à realização dos testes, sendo realizados no *software* Arena, em um Ideapad Lenovo, processador AMD Ryzen 5 3500U com Radeon Vega Mobile Gfx 2.10 GHz, memória RAM instalada 12,0 GB, sistema operacional Windows 11 *Home Single Language* 64 bits. As replicações tiveram duração de 1095 dias com período de *warm-up* de 180 dias, sendo 8 horas por dia e a unidade básica de tempo em horas e cada cenário com 10 replicações.

### 5.2. CENÁRIO BASE

A partir das análises e observações feitas, tanto na parte administrativa quanto

em campo acompanhando a execução das usinas solares fotovoltaicas, foi fundamental para construir o cenário base do modelo de simulação computacional, que fosse fiel à realidade da empresa e que conseguisse, nos testes computacionais, realmente representar o que é o gargalo da empresa, a execução das obras, algo constatado a partir das análises e confirmado a partir dos testes.

Após realizar as simulações do modelo no *software* Arena e analisar os resultados gerados pelo relatório, para se chegar à definição de melhor formatação e número de integrantes da equipe de obras, foram levados em consideração quatro pontos principais para serem comparados, dois deles sendo relacionados diretamente ao serviço dos operadores, que são a utilização programada e número total dimensionado, e os outros dois relacionados às filas formadas, sendo o tempo e a quantidade em espera.

### **5.3. CENÁRIO PROPOSTO 1**

No primeiro cenário proposto foi adicionado um operador, e apesar do aumento de um integrante para a equipe, o que se pôde notar após realizar a simulação e comparar com os resultados obtidos no cenário base é uma pequena diferença na entrega e com o nível de utilização da equipe continuando muito alto, o tempo de espera em alguns casos chega a aumentar, mas a quantidade de fila formada diminui. Tendo em vista todos esses pontos, pode-se dizer que esse cenário não resolve o problema do gargalo que é a intenção do estudo.

### **5.4. CENÁRIO PROPOSTO 2**

No segundo cenário proposto, a empresa continuou com quatro operadores, mas mudando a formatação, sendo constituídas duas equipes para a execução das usinas solares fotovoltaicas, cada uma delas ficando responsável pela execução de dois dos quatro tipos de projetos que são possíveis executar, sendo os operadores 1 e 2 ficando responsáveis pelos projetos residências e rurais, e os operadores 3 e 4 pelos comerciais e industriais. Como se pôde perceber, houve uma melhora dos resultados obtidos após a simulação, quanto à utilização dos operadores, de todos diminuiu, apesar de ter uma diferença entre as equipes. Até mesmo a utilização do engenheiro eletricista também diminuiu, quanto à quantidade teve um pequeno aumento, mas o mais importante é que esse cenário foi o que apresentou o menor tempo de espera e a menor fila formada o que

é algo muito importante, principalmente se pensar no longo prazo, pois em uma faixa de tempo maior por esse cenário apresentar melhor equilíbrio da equipe e menores filas e tempo de espera a diferença do número de entregas passará a ser maior.

A seguir, nas Tabelas 2, 3 e 4, e nos Gráficos 1, 2 e 3 são mostrados os comparativos dos resultados obtidos através das simulações, evidenciando o que o foi percorrido anteriormente. Pode-se afirmar que os melhores resultados foram com a formatação sugerida no cenário proposto 2.

Utilização programada									
	Cenário Base			Cenário Proposto 1			Cenário Proposto 2		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Operador	0,2144	0,184	0,2768	0,2127	0,1831	0,2717	0,07846	0,0618	0,1068
Operador 2	0,2144	0,184	0,2768	0,2127	0,1831	0,2717	0,07846	0,0618	0,1068
Operador 3	0,2144	0,184	0,2768	0,2127	0,1831	0,2717	0,1373	0,1047	0,1599
Operador 4				0,2127	0,1831	0,2717	0,1373	0,1047	0,1599

Tabela 2: Utilização Programada

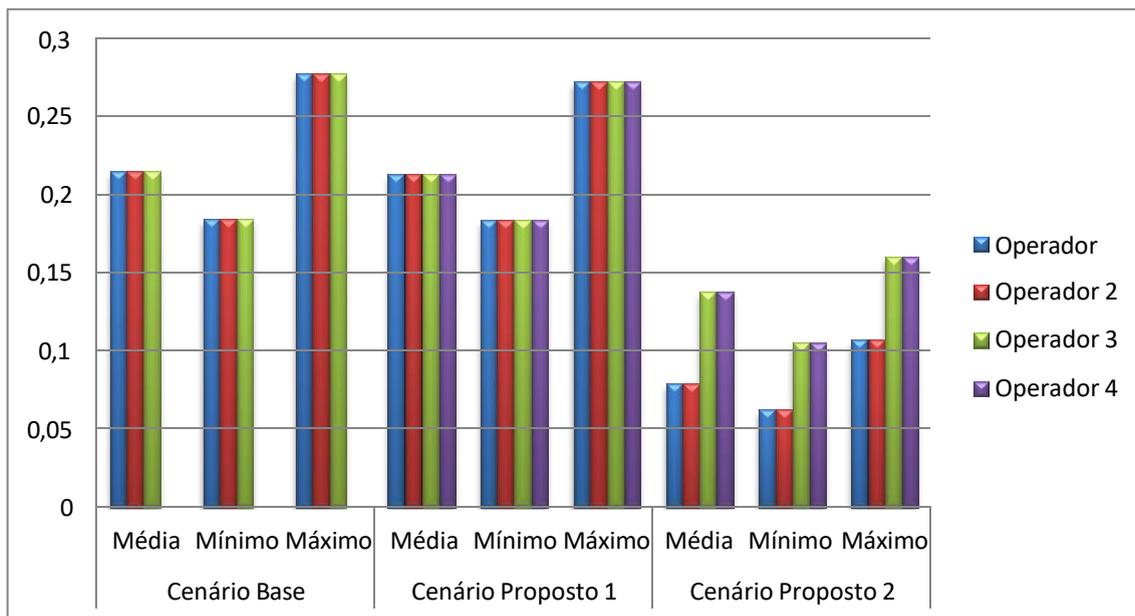


Gráfico 1: Utilização Programada

Número total dimensionado									
	Cenário Base			Cenário Proposto 1			Cenário Proposto 2		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Engenheiro	95,93	83	116	95,067	81	126	96,67	82	124
Operador	425,93	386	530	420,13	356	530	217,73	190	276
Operador 2	425,93	386	530	420,13	356	530	217,73	190	276
Operador 3	425,93	386	530	420,13	356	530	203,87	168	256
Operador 4		386	530	420,13	356	530	203,87	168	256

Tabela 3: Número total dimensionado

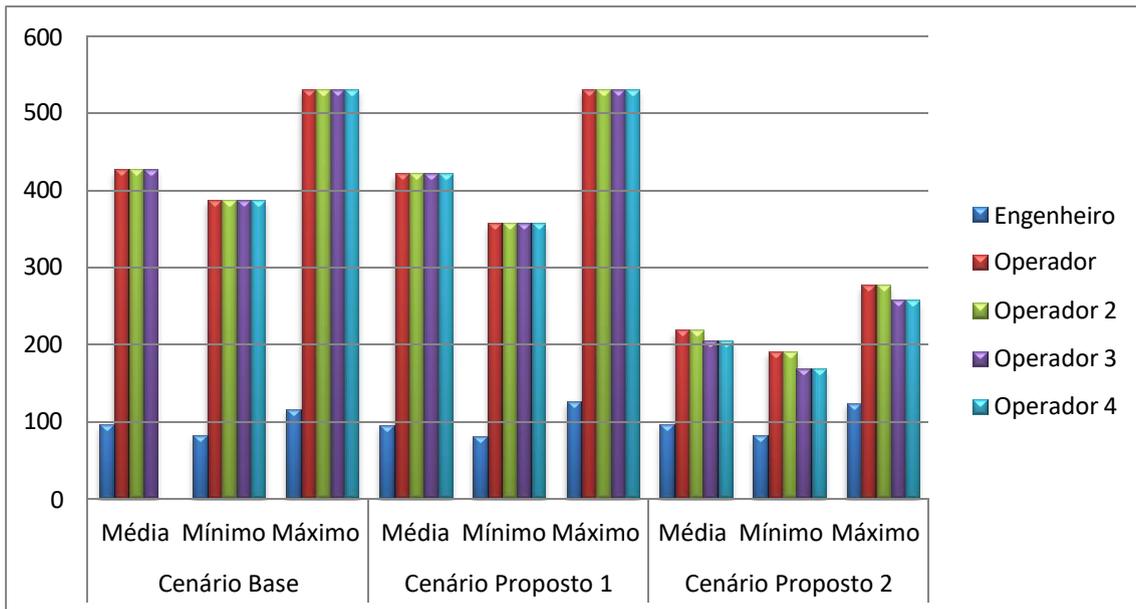


Gráfico 2: Número total dimensionado

Quantidade em espera									
	Cenário Base			Cenário Proposto 1			Cenário Proposto 2		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Comercial	0,00554	0,000385	0,00997	0,004747	0,004132	0,007189	0,002856	0	0,00718
Comercial 2	0,00308	0,000414	0,00784	0,003037	0,004143	0,007842	0,001907	0	0,00609
Industrial	0,001006	0	0,00613	0,000909	0	0,004679	0,000826	0	0,005584
Residencial	0,00342	0	0,01077	0,003377	0	0,01077	0,000913	0	0,004256
Residencial 2	0,00321	0	0,00881	0,003551	0,000529	0,008811	0,000618	0	0,002421
Residencial 3	0,00079	0	0,00296	0,000807	0	0,002981	0,000132	0	0,001985
Rural	0,00125	0	0,00504	0,001258	0	0,005042	0,000228	0	0,001621
Rural 2	0,00117	0	0,00753	0,001459	0	0,007533	0,000365	0	0,003478

Tabela 4: Quantidade em espera

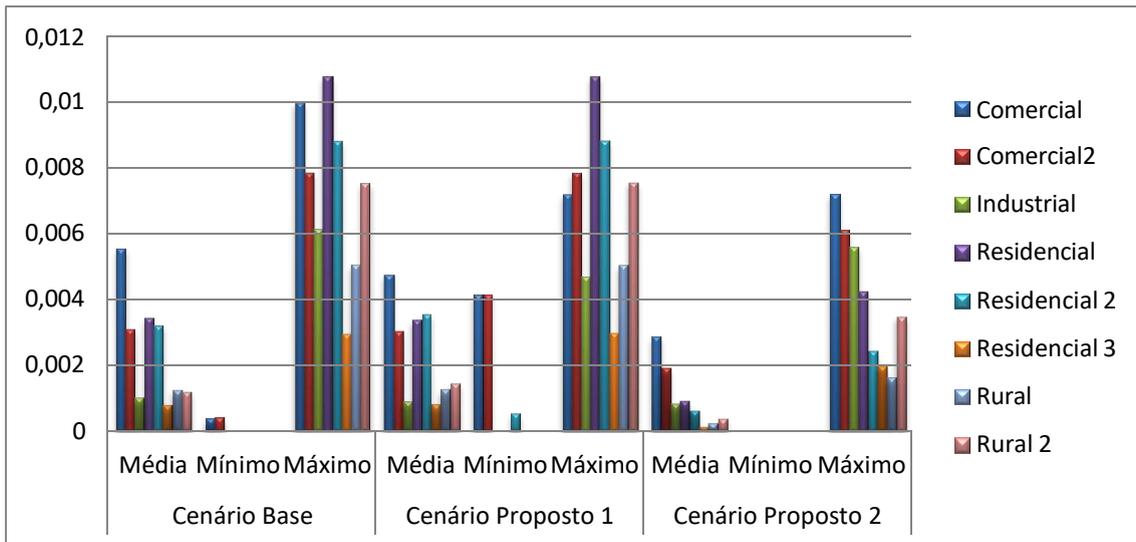


Gráfico 3: Quantidade em espera

Tempo de espera				
Cenário Base				
	Média	Mínimo	Máximo	Valor máximo
Comercial	2,9874	0,3132	6,0833	51,5578
Comercial 2	2,8878	0,4577	6,3783	35,9138
Industrial	1,7886	0	8,9843	28,9522
Residencial	2,1458	0	5,2576	44,6798
Residencial 2	2,369	0	6,1099	35,7369
Residencial 3	1,918	0	9,8158	19,6315
Rural	1,4486	0	3,6912	21,5943
Rural 2	1,8609	0	9,1909	54,6315

Tabela 5: Tempo de espera do cenário base

Tempo de espera				
Cenário Proposto 1				
	Média	Mínimo	Máximo	Valor máximo
Comercial	2,6378	0,3361	4,7844	29,5101
Comercial 2	3,2555	0,4577	7,1689	35,8443
Industrial	1,7606	0	8,5644	29,096
Residencial	2,3073	0	5,5297	39,3907
Residencial 2	2,8766	0,4565	8,1668	35,7369
Residencial 3	1,7383	0	9,8158	19,6315
Rural	1,4937	0	4,1013	21,5943
Rural 2	2,0825	0	9,1909	54,6315

Tabela 6: Tempo de espera do cenário proposto 1

Tempo de espera				
Cenário Proposto 2				
	Média	Mínimo	Máximo	Valor máximo
Comercial	1,6395	0	4,3857	29,5101
Comercial 2	2,055	0	8,6353	36,37
Industrial	1,6016	0	13,6253	29,096
Residencial	0,7624	0	3,1158	31,1579
Residencial 2	0,4355	0	1,9696	17,7262
Residencial 3	0,1938	0	2,9072	14,5358
Rural	0,39	0	3,9567	11,8702
Rural 2	0,8503	0	8,4864	25,4591

Tabela 7: Tempo de espera do cenário proposto 2

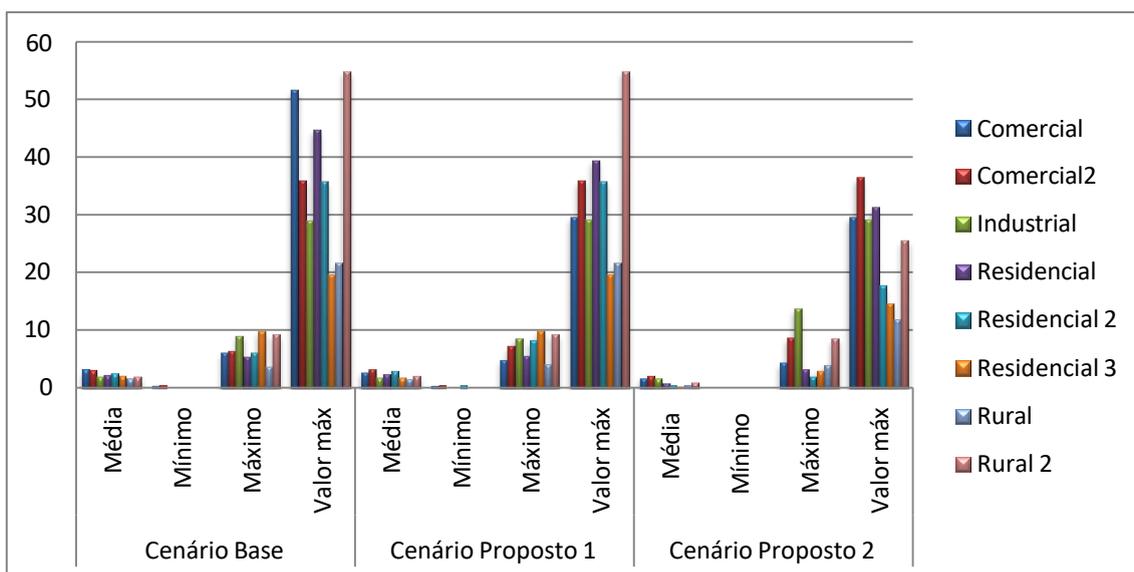


Gráfico 4: Tempo de espera

## 6. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação computacional que representasse fielmente o funcionamento de uma empresa no ramo de energia solar fotovoltaica e que, a partir da simulação com o auxílio do *software* Arena, foi possível analisar o funcionamento atual e em cenários diferentes e ver como seria o comportamento e qual seria a melhor sugestão de melhoria para o funcionamento da mesma. Olhando por esse ponto, fica nítida a importância do *software* para auxílio na tomada de decisão de algo que vai impactar na empresa como um todo, tanto na melhora do serviço prestado, quanto no custo que essas mudanças possam gerar ou reduzir, pois a contratação de um ou mais funcionários acarretará em novos custos, bem como uma má disposição também pode ocasionar o mesmo.

Como já foi dito o estudo foi realizado a partir de um cenário base e outros dois cenários propostos para que pudessem ser comparados os resultados e chegar na melhor opção para melhoria. Comparando-se todos os cenários simulados, pôde-se perceber que o cenário proposto 2 é o melhor, pois houve uma redução em todos os quatro critérios de desempenho levados em consideração nos comparativos dos resultados, além do melhor equilíbrio da equipe.

Para finalizar, é possível concluir que com uma análise bem feita e a

montagem criteriosa de um modelo computacional de simulação, ele tem grande serventia para que empresas possam utilizar os resultados gerados em seus relatórios para ajudar na tomada de decisões, evitando realizar mudanças desnecessárias ou que não vão surtir efeito positivo. Como trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos complementares, visando redimensionar ou até mesmo eliminar algumas atividades, com a finalidade de reduzir a duração dos projetos realizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRUYNE, Paul; HERMAN, Jacques; SCHOUTHEETE, **Mare de. Metodologia e prática da pesquisa em ciências sociais.** Dinâmica da pesquisa em ciências sócias: os pólos da prática metodológica, p. 23-38, 1991.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.
- TARTUCE, T. J. A. **Métodos de pesquisa.** Fortaleza: UNICE – Ensino Superior, 2006.
- MINAYO, Maria C. **Pesquisa social: teoria e método.** Petrópolis: vozes, 2002
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública. 4. ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, ANEEL, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição, ANEEL, 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações, ANEEL, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR.** Renováveis no Brasil: Maturidades diferentes para cada fonte exigem cuidados especiais. ABSOLAR, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR.** Os gurreiros da geração distribuída solar fotovoltaica. ABSOLAR, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR.** Crescimento da energia solar fotovoltaica impulsiona cursos de formação no setor. ABSOLAR, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR.** Perspectivas para a geração centralizada solar fotovoltaica no Brasil. ABSOLAR, 2019.
- STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. Basics of qualitative research. Thousands Oaks. CA: Sage. Straus, EE (2009). **Unequal pieces of a shrinking pie: The struggle between African Americans and Latinos over education, employment, and empowerment in Compton, California.** History of Education Quarterly, v. 49, n. 4, p. 507-529, 1998.
- STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. **Basics of qualitative research.** 1998. Thousand Oaks, 1998. Law, A. M. (2007). **Simulation modeling and analysis**, volume 4. McGraw-Hill New York.
- Chwif, L. and Medina, A. C. (2006). **Modelagem e simulação de eventos discretos.** Afonso C. Medina.
- Verboski, Tatianne A. Proposta E Simulação de um algoritmo de designação otimizado para despacho de equipes de atendimento de uma empresa de energia elétrica.
- BODIN, L. D.; GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A.; BALL, M. O. Routing and scheduling of vehicles and

crews: the state of the art. **Computers and Operations Research**. vol. 10, p. 63-211, 1983.



### TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Dimensionamento de equipes de execução de projetos de energia solar fotovoltaica" é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 02 de Abril de 2024.

Luan Henrique Cardoso Raimundi  
Nome do(a) aluno(a)