

## A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

## COMPUTATIONAL SIMULATION AS A TOOL FOR ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION PROCESS

Carla Tamires Fortunato

Faculdade de Tecnologia de Jahu – Fatec Jahu, carla.fortunato@fatec.sp.gov.br

Marina Fernanda Alves Ferreira

Faculdade de Tecnologia de Jahu – Fatec Jahu, marina.ferreira2@fatec.sp.gov.br

Evandro Antonio Bertoluci

Faculdade de Tecnologia de Jahu – Fatec Jahu, evandro.bertoluci@fatec.sp.gov.br

DOI: 10.54628/issn2763-5600.v18.1.2024.283

### Resumo

Este artigo visa utilizar métodos de simulação para analisar o processo de produção de bobinas para transformadores de uma empresa situada no interior do Estado de São Paulo. Foi utilizado o software Arena para realizar a simulação computacional do processo na empresa em questão, a fim de identificar os gargalos. Os dados foram coletados e relacionados ao tempo de produção das bobinas de potências de 75kVA, 225kVA e 300kVA. Através desses dados foi possível criar um fluxograma referente ao cenário atual da empresa. Os resultados mostraram que há gargalos nos processos de produção das três potências de bobinas. Após a constatação, foram propostas algumas sugestões de melhorias; a partir delas, realizamos uma nova simulação adequando os dados às mudanças propostas e verificamos a eficiência e viabilidade. A metodologia utilizada foi a de pesquisas em artigos científicos, livros, revistas e estudo de caso, cujo objetivo foi analisar o processo produtivo de transformadores por meio da simulação computacional com o software Arena. Através do software Arena, a simulação mostrou-se próxima da produção real, facilitando a visualização dos gargalos e a tomada de decisão; proporcionando assim, resultados positivos, como a diminuição do tempo para a chegada de cada pedido, melhor organização na distribuição dos pedidos para produção, além de aumentar o número de bobinas produzidas por dia e diminuir os gargalos encontrados.

**Palavras-chave:** Simulação. Arena. Bobina.

### Abstract

The aim of this article is to use simulation methods to analyze the transformer coil production process of a company located in the interior of the state of São Paulo. Arena software was used to perform a computer simulation of the process at the company in question, to identify bottlenecks. The data was collected and related to the production time of the 75kVA, 225kVA and 300kVA power coils. Using this data, it was possible to create a flowchart of the company's current scenario. The results showed that there are bottlenecks in the production processes of the three coil powers. Following this, some suggestions for improvement were proposed; based on these, a new simulation was carried out, adapting the data to the proposed changes and verifying efficiency and feasibility. The methodology used was research into scientific articles, books, magazines and a case study, the aim of which was to analyze the transformer production process using computer simulation with Arena software. Using the Arena

software, the simulation proved to be close to real production, making it easier to see the bottlenecks and make decisions; thus, providing positive results, such as a reduction in the time taken for each order to arrive, better organization in the distribution of orders for production, as well as increasing the number of coils produced per day and reducing the bottlenecks encountered.

**Keywords:** Simulation. Arena. Coil.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Souza *et al.* (2017), a partir do avanço das técnicas de gestão empresarial e a facilidade de obter informações, as empresas estão procurando meios de reduzir o tempo ocioso, ampliar a qualidade e atingir um alto padrão de eficiência e efetividade em seus processos produtivos. Para isso, é necessário analisar se a instituição possui um meio viável de representar a condição dos negócios, ou seja, retratar sua visão futura. Dessa forma, as organizações utilizam a modelagem e simulação de processos para verificar a veracidade dessa visão.

De acordo com Gavira (2003), a simulação permite a transformação de informações em conhecimento, o qual será aplicado no processo de tomada de decisões. Além disso, essa ferramenta estimula a análise crítica de dados, a formulação de perguntas, a descoberta de respostas, e a visão sistêmica.

Com base em Prado (2004), ao efetuar certos tipos de estudos e planejamentos, é comum encontrar problemas de dimensionamento ou fluxo, cuja solução é aparentemente complexa. Estudos de modelagem de sistemas podem envolver modificações de *layout*, ampliações de fábricas, troca de equipamentos, por exemplo. Para dimensionar adequadamente um sistema, deve-se analisar os gargalos ocasionados durante os processos.

Prado (2004), ainda diz que, diante das técnicas disponíveis para a modelagem de sistemas, existem a Teoria das Filas e a Simulação, sendo esta última a mais utilizada. A Teoria das Filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas. Já a simulação é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real, o qual será utilizado no estudo de caso.

De acordo com Oliveira (2008), *apud.* Junior e Cardoso (2018), o propósito do planejamento pode ser definido como o desenvolvimento de processos, técnicas e atitudes administrativas, as quais proporcionam uma situação viável de avaliar as implicações futuras de decisões em função de objetivos empresariais que facilitarão a tomada de decisão no futuro.

Para Junior e Cardoso (2018), a falta de planejamento estratégico pode ter consequências críticas para uma empresa, pois pode gerar uma série de dificuldades para o negócio. Pensando neste âmbito, a tecnologia está cada vez mais presente nas decisões e

planejamento estratégico. A simulação é uma ferramenta muito utilizada para analisar tempos em fila e processo ou até mesmo prever solução para um problema, a fim de reduzir os custos, seja no tempo de processo ou o melhor aproveitamento de funcionários

Segundo Jesus, Leme e Bertoluci (2021), a técnica de modelagem e simulação de sistemas, permite criar, ambientes virtuais que imitam o comportamento de quase todos os tipos de sistemas. Sendo assim, nos últimos anos, houve a expansão do uso de *softwares* de simulação em diversos segmentos. Para Silva (2005), *apud.* Jesus, Leme e Bertoluci (2021), a simulação é uma ferramenta utilizada na área de pesquisa operacional, que permite a criação de vários cenários, nos quais se pode orientar a tomada de decisão da empresa, gerar situações e avaliações de sistema, e propor soluções para melhoria de desempenho.

Conforme Paragon (2023), o Arena é um *software* para simulação de eventos discretos. Ele permite simular todos os cenários de negócios e entender as operações diárias em detalhes, com isso, é possível realizar as análises necessárias, e tomar melhores decisões em cada etapa do projeto. O *software* não utiliza linhas de códigos, pois a forma de modelagem de processos é realizada mediante fluxogramas.

O objetivo do artigo é, através da simulação computacional utilizando o *software* Arena, modelar o processo produtivo de bobinas para transformadores com diferentes potências em uma empresa do setor de distribuição do interior do Estado de São Paulo. Foi realizada a coleta de dados durante a produção do mês de abril/2023, por meio de planilhas que continham o tempo preciso do processo de fabricação, além dos relatórios que o próprio sistema da empresa disponibiliza das linhas de produção das bobinas. As planilhas foram criadas com base nas bobinas com potência de 75kVA, 225kVA e 300kVA.

Inicialmente será criado no *software* Arena um cenário que represente a realidade atual desta empresa e, a partir da simulação, verificar-se-á o tempo de produção total. Após esta análise, serão identificados os gargalos presentes e assim, realizadas novas simulações via sugestões estratégicas que auxiliem na redução dos gargalos, otimizando o tempo de produção.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Métodos de Simulação

Para Pegden (1991) *apud.* Freitas Filho (2008) pag. 22, a “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos por meio deste modelo com propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Segundo Freitas Filho (2008), a simulação computacional permite que estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, formulando propostas eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada. Um estudo simulado pode economizar tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade, visto que, o modelo simulado é muito semelhante ao real.

A simulação pode ser utilizada para descrever o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses, considerando as observações efetuadas, o modelo pode ser utilizado para prever o comportamento futuro, além disso, é possível realizar alterações no processo a fim de antever possíveis gargalos ou testar sugestões para melhorar o processo. Também há possibilidade do emprego de animações, permitindo a visualização do comportamento dos sistemas durante as simulações, o que facilita a compreensão dos dados.

A maioria dos modelos de simulação são do tipo entrada-saída, isto é, são modelos interativos que fornecem dados de entrada, obtendo-se respostas específicas.

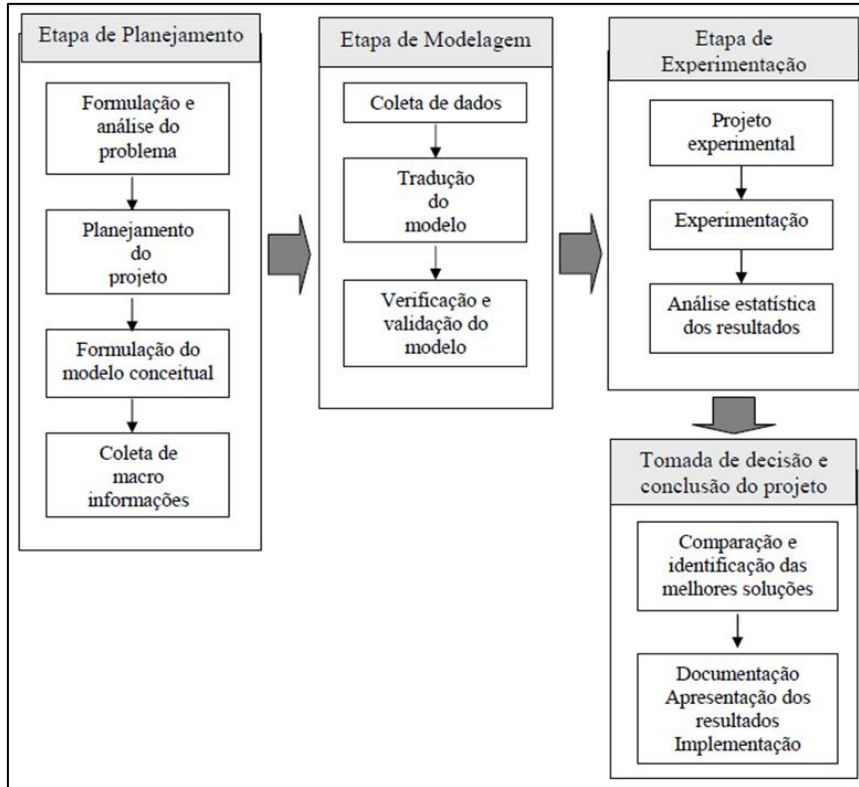
Pode-se citar algumas vantagens baseadas em Pegden (1991) e Banks (1984) *apud*. Freitas Filho (2008, pag. 26):

- Uma vez criado, um modelo de simulação pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Enquanto os modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições. Além disso, nos modelos analíticos, as análises recaem apenas sobre um número limitado de medidas de desempenho. De maneira contrária, as informações geradas pelos modelos de simulação permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível;
- O tempo pode ser controlado, comprimindo ou expandindo, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;
- Pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação à performance e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos de sistema;
- A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual.”

Freitas Filho (2008) diz ainda que, para o processo de simulação é necessário realizar a coleta de informações e dados, a partir de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. O modelo criado deve ser codificado numa linguagem de simulação apropriada. Assim que finalizado, é imprescindível executar simulações para a geração dos dados desejados e verificar se todas as informações fornecidas estão corretas. Com base nas análises, é possível

que haja necessidade de aumentar o número de execuções (replicações) do modelo, para que se possa alcançar a precisão estatística sobre os resultados desejados.

Figura 1. Passos de um estudo envolvendo modelagem e simulação.



Fonte: Freitas Filho (2008, p.29).

Ao desenvolver um projeto de modelagem e simulação, são essenciais determinadas etapas para obter o resultado esperado.

Durante a primeira etapa, a do planejamento, deve se ter como base a formulação e análise do problema que será apresentado; logo em seguida, o planejamento, a formulação do modelo conceitual e a coleta de macro informações são primordiais, pois só assim será possível criar a simulação do processo.

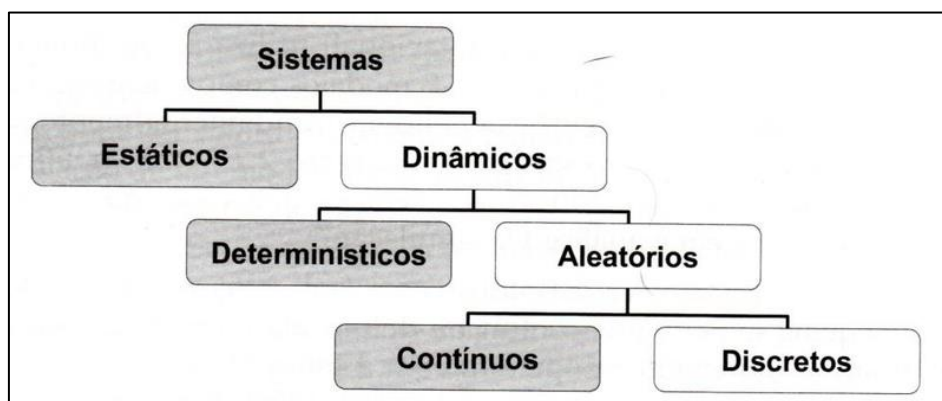
Na segunda etapa, a da modelagem, os dados devem ser coletados, possibilitando a construção do modelo e, posteriormente, a verificação do modelo até chegar o mais próximo das informações coletadas.

Ao realizar a terceira etapa, a de experimentação, a partir dos problemas detectados, cria-se um projeto experimental, focando em mudanças necessárias para um resultado positivo; no entanto, esse projeto experimental deve ser analisado diversas vezes, focando nas estatísticas dos resultados ali presentes.

Para a finalização do projeto de modelagem, o quarto passo se faz necessário, pois é nele que acontece a comparação e identificação das melhores soluções para os problemas. Através do relatório, é possível apresentar propostas de melhoria a serem implementadas.

De acordo com Freitas Filho (2008), os sistemas de modelagem podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, contínuos ou discreto, e determinísticos ou aleatórios. O sistema utilizado como base para o estudo de caso será: dinâmico, pois está associado a ideia de sistemas que sofrem mudanças ao longo do tempo. Aleatório, uma vez que os possíveis estados das variáveis podem ser descritos, mas não predeterminados. E por fim, discreto, já que as mudanças de estado ocorrem em pontos discretos no tempo e não de forma contínua.

Figura 2. Classificação dos sistemas para fins de modelagem



Fonte: Freitas Filho (2008, p.46)

## 2.2 Software Arena

Com base em Prado (2004), o Arena foi lançado pela empresa americana *Systems Modeling* em 1993 e é o sucessor de dois outros produtos de sucesso da mesma empresa: SIMAN e CINEMA. Em 1984 o SIMAN recebeu um complemento chamado CINEMA, que adicionava habilidades de computação gráfica. Este conjunto foi continuamente melhorado e, a partir de 1993, os dois programas foram unificados e aperfeiçoados em um único *software*, o Arena.

De acordo com Paragon (2023), especializada em consultorias para tomada de decisão, o Arena possui inúmeras funcionalidades, ele permite simular todos os cenários de negócios e entender as operações diárias em detalhes. Com isso, é possível fazer as análises necessárias e tomar as melhores decisões para cada etapa do projeto. Projetos de crescimento empresarial são um grande desafio para as equipes de planejamento e de gestão, dada a abundância de fatores que precisam ser avaliados antes de tomar cada decisão que custa tempo, dinheiro e

expectativas.

Para Prado (2004), o Arena utiliza a modelagem através da programação visual, em que o sistema é criado na tela do computador na forma de um fluxograma, correspondendo à ocorrência de eventos em uma entidade que flui pelo projeto que está sendo modelado. O Arena também fornece relatórios para análise dos resultados, os principais são: tempo médio na fila, tamanho médio da fila, utilização média do atendente e total de saída do sistema. Durante a modelagem também é possível inserir relógio, data, indicador de nível, gráfico de linha e 3D, para análises mais completas.

Ainda segundo Prado (2004), o Arena utiliza o método Monte Carlo, que consiste em empregar números aleatórios e a função de probabilidades que descreve o fenômeno real. Para que a simulação forneça resultados confiáveis, é necessário que a amostra simulada seja de tamanho adequado, ou seja, se o tamanho da amostra for aumentado, os resultados não se alteram.

## 2.3 A Bobina

Segundo Alves *et al.* (2022), os transformadores são formados por duas bobinas, o enrolamento ligado à fonte de energia é denominado de bobina do primário e o enrolamento conectado às cargas é denominado de bobina do secundário, quando se trata de transformador bifásico.

De acordo com Bechara (2010), as bobinas apresentam um arranjo físico que pode ser do tipo helicoidal, em camadas, discos contínuos ou discos entrelaçados. A relação entre o número de espirais dos diversos enrolamentos do transformador define seus níveis de tensão de operação, havendo possibilidade de fazer bobinas com terminais intermediários. O que diferencia os autotransformadores dos transformadores são as características construtivas a partir do arranjo das bobinas.

O desenho técnico da bobina varia segundo as especificações do transformador, isso envolve determinar o número de enrolamentos, o tipo de fio (que pode variar conforme a classe e potência), e dimensão da bobina, a título de exemplo. O fio condutor pode ser de cobre ou alumínio e cada um desses fios possuem variações em suas dimensões. É necessário realizar o isolamento adequado para os enrolamentos, que pode ser em verniz isolante ou fita de isolamento.

O processo de produção das bobinas tem início quando o fio condutor é enrolado através da bobinadeira, que é um tipo de máquina gerenciada pelo funcionário responsável da



produção. Os enrolamentos podem ser divididos em várias camadas, dependendo do tamanho e da capacidade do transformador. Durante e após o processo de bobinagem, as camadas de enrolamentos são isoladas para evitar curtos-circuitos e garantir a segurança e o desempenho adequados do transformador.

Após a conclusão da bobinagem e isolamento, as bobinas são montadas em núcleos de ferro onde outros componentes podem ser adicionados, como placas de circuitos, conectores e terminais.

Figura 3. Exemplo de bobinas em um transformador trifásico



Fonte: Moderny Power Solution Provider, (2023).<sup>1</sup>

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste artigo foram realizadas pesquisas bibliográficas, por meio de livros, artigos científicos dos Anais da Unesp e Fateclog, revista Fatec Sebrae em Debate e sites acadêmicos como Scielo, tendo como objetivo um estudo de caso para analisar o processo produtivo de transformadores por meio da simulação computacional com o *software* Arena de uma empresa localizada no interior do Estado de São Paulo.

Após a análise bibliográfica, surgiu a necessidade de realizar uma simulação no *software* Arena. Para isso, entrou-se em contato com a empresa no intuito de conhecer seu processo produtivo de bobinas para transformadores e verificar as possibilidades de melhorias e eliminar possíveis gargalos. Através de um colaborador foi possível realizar a coleta de dados para o estudo de caso, foram utilizadas planilhas do *Excel* e relatórios referentes ao mês de abril/2023.

---

<sup>1</sup>Disponível em:

[https://portuguese.acpowerstabilizer.com/photo/ps2939895copper\\_coil\\_variable\\_dry\\_type\\_transformer\\_buck\\_boost\\_transformer.jpg](https://portuguese.acpowerstabilizer.com/photo/ps2939895copper_coil_variable_dry_type_transformer_buck_boost_transformer.jpg). Acesso em: 25 mai. 2023.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 A Empresa

A empresa, objeto do estudo, está localizada no interior do Estado de São Paulo. Fundada em 1975, é especializada na fabricação de transformadores de distribuição, autotransformadores e especiais, para atender às necessidades específicas de cada cliente, além dos serviços de reforma e manutenção em transformadores de todas as marcas.

Têm como principais clientes, Concessionárias de Energia Elétrica, instaladoras elétricas, *shopping centers*, e empresas de diversos setores. Ela é certificada pelo sistema de qualidade ISO 9001 desde 1997 e participante do PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem / Eficiência Energética) do INMETRO desde 2014.

A organização trabalha com o tipo de produção puxada, ou seja, ela não trabalha com estoque, o foco é no fluxo de materiais. Os pedidos são realizados um mês antes da produção dos produtos, são aceitos no máximo duzentos durante o mês. O estudo de caso é baseado no processo produtivo de abril/2023, referente aos pedidos fechados em março/2023.

### 4.2 Coleta de Dados

Para o estudo de caso, a coleta de dados se deu conforme o processo de produção diária de bobinas durante o período de 01 a 30 de abril de 2023. A confecção do produto ocorre diariamente em um período de 10 horas e 30 minutos, sendo que, dentro desse tempo, 1 hora e 45 minutos são retirados para o horário de almoço. Portanto, os dados foram coletados de acordo com o sistema da empresa, que possui um cartão ponto para cada funcionário e mais tarde são digitalizados e geram um relatório de início e término da produção de cada peça.

Foram separados três relatórios para o estudo de caso, documento esse, que identifica a contagem de tempo que cada funcionário leva produzindo a bobina ao longo do horário trabalhado. Dentro do relatório encontra-se o horário de início e término da produção, a quantidade produzida diariamente por cada um dos colaboradores, a voltagem de cada um dos itens produzidos e o tempo total para produzir cada um dos itens em questão.

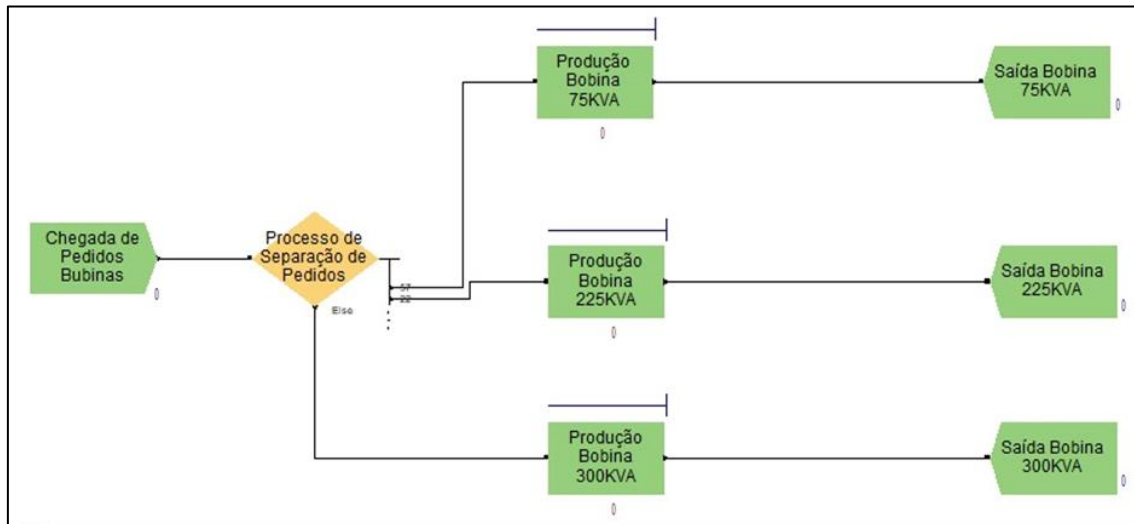
### 4.3 Processo

Para a criação da simulação, foram separadas três voltagens de bobinas, as de 75kVA, de 225kVA e as 300kVA. Durante o mês de abril foram produzidas 297 bobinas da voltagem

75kVA, 117 unidades das bobinas de 225kVA e 111 unidades das bobinas de 300kVA. Essas informações foram dispostas em tabelas do Excel para uma melhor visibilidade.

Após a montagem das tabelas, foram realizadas fórmulas para encontrar o tempo mínimo, médio e máximo dentro da produção e com base nesses dados iniciou-se o processo de criação do fluxograma para a simulação.

Figura 4. Fluxograma do Processo Inicial



Fonte: Autores, (2023).

O fluxograma começa com a figura chamada *create* que indica a Chegada de Pedidos de Bobinas, essa figura está ligada a outra que chamamos de *decide*, a qual indica o Processo de Separação de Pedidos que aponta a porcentagem que irá para cada linha de produção. Saindo do *decide*, são encontradas três imagens de *process*, que foram intituladas como Produção Bobina 75KVA, Produção Bobina 225KVA e Produção Bobina 300KVA e a Saída de cada uma das voltagens da bobina foi representada com a figura *dispose*.

Na imagem *create* (Chegada de Pedidos Bobinas), que estipula o tempo entre chegadas (*Time Between Arrivals*) foram indicados o seguinte dados tipo (*Type*) Random (Expo) com o valor (*Value*) de 19 e unidades (*Units*) em minutos.

Na imagem *decide* (Processo de Separação de Pedidos) os dados foram baseados no tipo (*Type N-way by Change*) que foram adicionadas três pontos de porcentagem, de acordo com a quantidade da entrada de pedidos durante o mês de abril. O primeiro ponto do *decide* foi definido com o valor de 57%, o segundo ponto foi fixado com o valor de 22% e por fim, o terceiro ponto ficou com o valor de 21%.

Os processos definidos foram: Produção Bobina 75kVA, a ação (*action*) escolhida foi

*Seize Delay Release* e como recurso (*Resources*) foi adicionado ao colaborador 1, XJ. No tipo de atraso (*Delay Type*) foi intitulado com triangular, contendo as seguintes definições: unidade foi definida como minutos, com tempo mínimo de 30 minutos, médio em 50 minutos e máximo em 71 minutos; esses dados foram definidos através de fórmulas do Excel, com base na tabela de dados citada anteriormente.

Para o segundo processo, Produção Bobina 225kVA, foram utilizadas as mesmas definições: *Seize Delay Release* o colaborador XT foi adicionado e por fim foi definido o tempo de atraso como triangular, as unidades em minutos, o valor máximo de 40 minutos, médio de 58 minutos e máximo em 75 minutos.

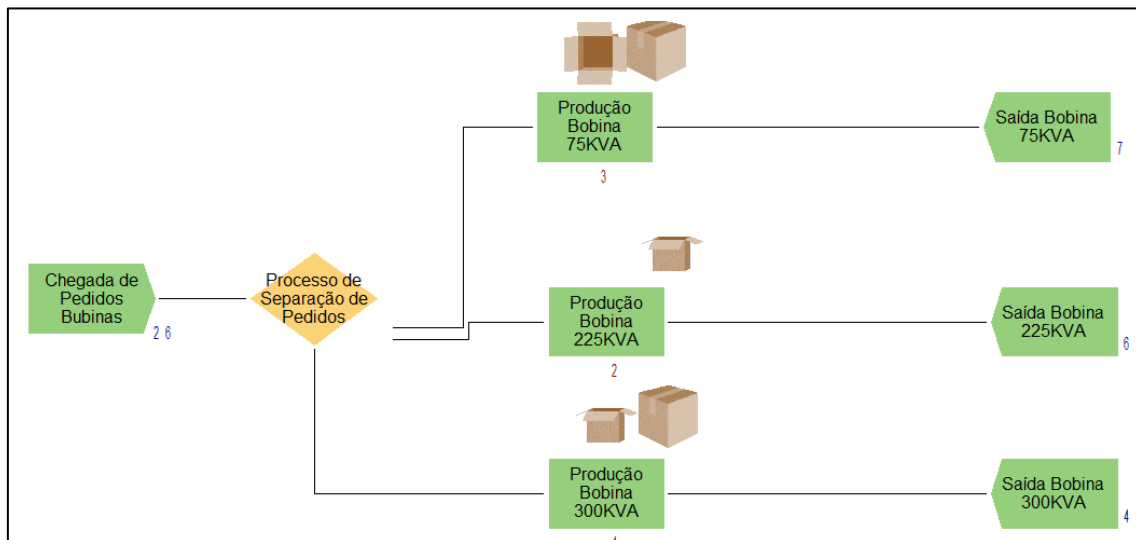
E por fim, o terceiro processo, Produção Bobina 300kVA, possui um colaborador, XR, segue o tempo de atraso triangular com os seguintes valores: mínimo 55 minutos, médio 92 minutos e máximo de 190 minutos.

Ao finalizar o fluxograma, intitulou-se três pontos de saída, um para cada bobina, podendo assim realizar as definições finais para rodar a simulação. O número de replicações foi 1, com duração de 528 minutos.

#### 4.4 Análise do Resultado Inicial

Com os dados definidos no fluxograma, foi possível realizar as definições finais e assim rodar a simulação para obter os resultados iniciais.

Figura 5. Fluxograma com os resultados após a simulação



Fonte: Autores, (2023).

Quadro 1. Bobinas de Transformadores – Cenário Inicial

BOBINAS DE TRANSFORMADORES - Cenário Inicial					
75KVA		225KVA		300KVA	
Number In	10	Number In	8	Number In	8
Number Out	7	Number Out	6	Number Out	4
Scheduled Utilization	67%	Scheduled Utilization	74%	Scheduled Utilization	98%
Waiting Time	14 min.	Waiting Time	56 min.	Waiting Time	223 min.
Number Waiting	0	Number Waiting	3	Number Waiting	1

Fonte: Autores, (2023).

O Quadro 1 mostra que houve a entrada de 26 pedidos e durante o processo de separação foram 10 pedidos para o funcionário XJ, que realizou a produção de bobinas de 75kVA, para o segundo processo foram separados 8 pedidos, tendo como operador o XT e para o terceiro funcionário, XR, foram enviados 8 pedidos. Antes mesmo do relatório, verificaram-se gargalos nos três processos, o primeiro com 3 unidades, o segundo com 2 e o terceiro com 4 unidades paradas na linha de produção.

Tabela 1. Relatório do cenário inicial

Entity 1.NumberIn	Number In	Entity	26
Entity 1.NumberOut	Number Out	Entity	17
XJ.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	8
XJ.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,672842711
XR.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	5
XR.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,985378506
System.NumberOut	Number Out	System	17
XT.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	7
XT.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,736706071

Fonte: Autores, (2023).

Ao analisar a Tabela 1, o *Number In* mostra que ocorreu a chegada de 26 pedidos durante o dia, sendo que apenas 17 foram finalizados como demonstrado no *Number Out*. A Tabela 1 nos mostra também a porcentagem de eficiência durante o dia trabalhado dos colaboradores. XJ teve eficiência de 67%, sendo que em sua linha de produção tivemos gargalo, restando 3 unidades paradas. XR apresenta eficiência de 98%, porém em sua linha de produção também existe gargalo, com 2 unidades e por último, temos XT, com a porcentagem de 74%, porém, seu processo mostra gargalo com 4 unidades paradas.

Tabela 2. Relatório do tempo de produção

Produção Bobina 225KVA.Queue	Waiting Time	Queue	56,25027566
Produção Bobina 300KVA.Queue	Waiting Time	Queue	223,2486975
Produção Bobina 75KVA.Queue	Waiting Time	Queue	13,61319135

Fonte: Autores, (2023).

Como resultado do tempo médio da fila (*Waiting Time*), pode-se ver na Tabela 2 os seguintes dados: bobinas de 75kVA com tempo médio da fila de 14 minutos, bobinas de 225kVA com tempo de 56 minutos e as bobinas de 300kVA com tempo médio estimado em 223 minutos.

Tabela 3. Relatório do número de espera da fila

Produção Bobina 225KVA.Queue	Number Waiting	Queue	0,890449893
Produção Bobina 300KVA.Queue	Number Waiting	Queue	3,353396536
Produção Bobina 75KVA.Queue	Number Waiting	Queue	0,273840206

Fonte: Autores, (2023).

Além de todas as informações relatadas acima, ainda foi extraído do relatório os dados que mostram o número de espera da fila (*Number Waiting*), Tabela 3.

## 4.5 Proposta de Melhorias

Com os resultados da análise realizada, surgiu a necessidade de propor melhorias para a empresa.

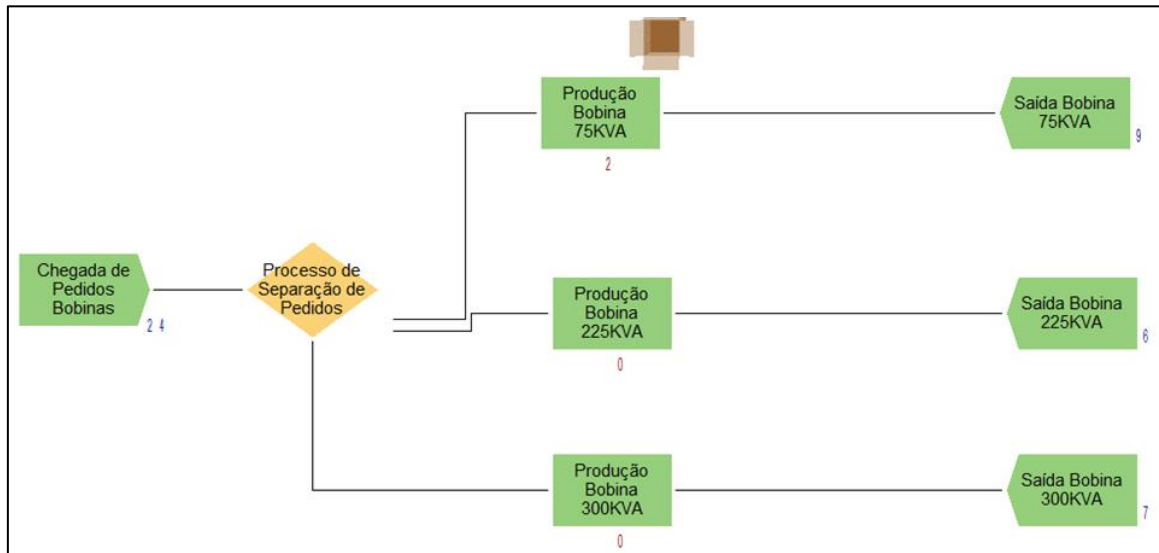
O primeiro ponto em questão, foi a manutenção; durante o processo de coleta de dados, ocorreram problemas durante dois dias, em que a produção ficou parada por cerca de 3 horas por problemas no maquinário, o que acarretou atraso na produção. Diante da situação, foi proposto que a manutenção ocorra semanalmente, utilizando-se o horário do almoço para tal, sendo assim o processo não fica parado por horas por problemas técnicos, já que a manutenção deverá ser realizada semanalmente e antecipando possíveis consertos.

Foi proposto também que haja o rodízio na hora do almoço, pois nesse momento todos os colaboradores param no mesmo horário e a empresa fica durante 1 hora e 45 minutos sem nenhuma produção. Com o rodízio, a produção não pararia em 100%, pois a equipe seria dividida em duas, tornando assim possível a continuação da fabricação de bobinas durante às 10 horas e 33 minutos trabalhados.

Outra proposta sugerida, foi a de controlar de forma eficaz o estoque, instalando um sistema, criando um estoque mínimo como base, além de realizar os pedidos de insumos mensalmente de acordo com a produção. Atualmente a empresa tem sofrido com o problema da falta de insumos. Os produtos são estocados e retirados de forma manual, sem um controle total do que realmente acontece, além de haver problemas com o inventário, pois a contagem é realizada com a produção em andamento, o que interfere na hora dos pedidos e acarreta disfuncionalidade, como a parada da linha de montagem por falta do material necessário.

Com as ações propostas, realizou-se uma nova simulação (Figura 6) que mostra a redução das filas e gargalo apresentados anteriormente.

Figura 6. Fluxograma da Nova Simulação



Fonte: Autores, (2023).

Quadro 2. Bobinas de transformadores – Cenário com melhorias

BOBINAS DE TRANSFORMADORES - Cenário com melhorias					
75KVA		225KVA		300KVA	
Number In	11	Number In	6	Number In	7
Number Out	9	Number Out	6	Number Out	7
Scheduled Utilization	69%	Scheduled Utilization	59%	Scheduled Utilization	96%
Waiting Time	8 min.	Waiting Time	53 min.	Waiting Time	61 min.
Number Waiting	0	Number Waiting	1	Number Waiting	1

Fonte: Autores, (2023).

O Quadro 2 apresenta a nova proposta, com a realização das melhorias. Dentro dessa simulação, estipulou-se o tempo de 25 minutos para a chegada de cada pedido, sendo que eles são distribuídos para três colaboradores; uma vez que durante o mês de abril foram produzidos



175 transformadores fazendo o uso das bobinas com as voltagens em questão. Para esses 175 transformadores, por serem trifásicos, foram produzidas 3 bobinas para cada um, somando um total de 525 unidades e atendendo um total de 24 bobinas produzidas diariamente. Além da mudança do tempo de Chegada de Pedidos das Bobinas, também foram feitas alterações no tempo máximo da bobina de 300kVA, que antes era de 190 minutos por problemas de falta de manutenção do equipamento e falta de peças para a produção, passou agora a ser de 114 minutos. E por fim, no momento de rodar a simulação, o tempo estimado era de 528 minutos, mas com o rodízio dos grupos na hora do almoço, o tempo passou a ser de 633 minutos, o que apresentou grandes mudanças.

Portanto, com essas mudanças no cenário da empresa, a partir do relatório realizado através do *software* pode-se analisar algumas informações. Nele consta que 24 bobinas deram entrada no processo de produção, sendo finalizadas 22 delas. O tempo de espera na fila para produção diminuiu e a eficiência melhorou, tornando o processo mais rápido.

Tabela 4. Relatório dos resultados obtidos

Entity 1.NumberIn	Number In	Entity	24
Entity 1.NumberOut	Number Out	Entity	22
XJ.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	10
XJ.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,69008656
XR.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	7
XR.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,957303116
System.NumberOut	Number Out	System	22
XT.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	6
XT.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,589967154

Fonte: Autores, (2023).

Tabela 5. Relatório do tempo de espera após modificações

Produção Bobina 225KVA.Queue	Waiting Time	Queue	53,34841093
Produção Bobina 300KVA.Queue	Waiting Time	Queue	61,23540105
Produção Bobina 75KVA.Queue	Waiting Time	Queue	8,477585412

Fonte: Autores, (2023).

Tabela 6. Relatório do número de espera da fila após modificações

Produção Bobina 225KVA.Queue	Number Waiting	Queue	0,505672141
Produção Bobina 300KVA.Queue	Number Waiting	Queue	0,677168732
Produção Bobina 75KVA.Queue	Number Waiting	Queue	0,14501732

Fonte: Autores, (2023).

Quadro 3. Comparativo antes e depois das melhorias

Quantidade de Transformadores Mês/Abril	Quantidade Bobinas Mês/Abril	Tipos de Bobinas	Produção Diária/Chegada de pedidos a cada 25 min.	Tempo de Produção		Fila de Espera	
				Antes	Depois	Antes	Depois
175 Unid.	525 Unid.		24 Unid.				
		300KVA	Xt 6	223 min.	61 min.	3	0
		225KVA	Xr 7	56 min.	53 min.	1	1
		75KVA	Xj 10	14 min.	8 min.	0	0

Fonte: Autores, (2023).

O Quadro 3 apresenta o comparativo do antes e depois das melhorias. Analisa-se que para a fabricação das bobinas de 300KVA, o tempo de produção foi otimizado de 223 minutos para 61 minutos, contabilizando uma redução de 72,8%; sendo que inicialmente o gargalo era de 3 bobinas e agora não existe espera na fila. Para as bobinas de 225KVA, o tempo de produção passou de 56 minutos para 53 minutos, representando uma redução de 5,3%; mantendo gargalo de 1 bobina. Por fim, as bobinas de 75KVA apresentam redução de 6 minutos no tempo de produção, o equivalente a 42,8%; seguindo sem espera na fila.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados alcançados, pôde-se confirmar a importância da aplicação dos conceitos de simulação computacional e modelagem de sistemas. O software Arena provou ser uma ferramenta eficiente, que auxilia no processo de tomada de decisões, seu uso foi fundamental para visualização dos processos e identificação dos gargalos.

Contudo, foi necessário observar com precisão as operações executadas durante o processo produtivo, para que a simulação ficasse o mais próximo da realidade, a fim de que a análise sobre o processo fosse coerente. No Arena foram criados dois cenários diferentes, um deles utilizando os dados coletados durante o mês de abril/2023 e outro com as mudanças sugeridas.

Comparando-se os dados obtidos dos dois cenários através dos resultados fornecidos pelos relatórios do Arena, foram analisados os indicadores de desempenho. A quantidade de bobinas produzidas no primeiro cenário foi menor, devido à falta de insumos, problemas durante a produção e ausência de manutenção frequente nas máquinas. A partir da identificação

dos gargalos no cenário atual da empresa, foram propostas algumas mudanças no processo de produção. Essa proposta inclui a constante manutenção nas máquinas, mudança no horário de trabalho, sem alterar a carga horária exigida por lei, e alinhamento do setor de estoque com o de compras. Foi comparada a viabilidade dessas mudanças com o cenário atual da empresa, e verificamos que elas vão otimizar a produção.

Portanto, o objetivo de propor soluções para o processo de produção de bobinas foi alcançado. A partir disso, a empresa poderá se planejar para receber mais pedidos do que está habituada, além de aperfeiçoar esse processo. Futuramente, poder-se-ia investir em um *software ERP*, com o intuito de melhorar o controle de estoque e as baixas nos insumos, o que afeta diretamente o processo produtivo.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. L. *et.al.* **O transformador: teoria, construção e análise do rendimento.**

Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, 28 jan 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/gfZK5Pm7WkT6wdy9CfmsRDR/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

BECHARA, R. **Análise de falhas de transformadores de potência.** 2010. Dissertação

(Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-16082010-163504/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena.** 2. ed., Florianópolis: Visual Books, 2008.

GAVIRA, M. O. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de**

**Conhecimento.** 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Disponível em: Ideias: (usp.br). Acesso em: 25 mai. 2023.

JESUS, M. S.; LEME, V. P.; BERTOLUCI, E. A. **Simulação com o Software Arena em uma Linha de Produção de Calçados: Análise de Cenários e Sugestões de Melhorias.**

Fateclog. Mogi das Cruzes. 19 jun. 2021. Disponível em:

<https://fateclog.com.br/anais/2021/688-913-1-RV.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

JUNIOR, G. S.; CARDOSO, L. E. Z. **Utilização do Software Arena para Análise de Demanda de um Estabelecimento de Estética.** 7.º Jornada Científica e Tecnológica da

Fatec. Botucatu. 01 nov. 2018. Disponível em:

<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIJTC/VIIJTC/paper/viewFile/1541/1962>. Acesso em: 24 nov. 2023.

PARAGON, Software Arena. 2023. Disponível em: <https://paragon.com.br/arena/>. Acesso em: 19 mai. 2023.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação**. 2. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

SOUZA, A. C. L. *et al.* **Simulação de uma Linha de Produção de Biscoitos Utilizando o Software Arena**. ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL XI. 2015. Anais. Disponível em: [http://anais.unespar.edu.br/xi\\_eepa/data/uploads/artigos/3/3-01.pdf](http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/3/3-01.pdf). Acesso em: 17 jun. 2023.

"O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade do(s) autor(es)."