

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CUSTOS EM UMA FÁBRICA DE CHOCADEIRAS

SIMULATION AND COST ANALYSIS IN A HATCHERY FACTORY

Claudia Carvalho Oliveira (claudia.carvalho.co7@gmail.com)

Maria Aparecida Fernandes Almeida (mafa@pucminas.br)

Resumo

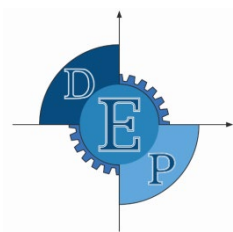
O mercado atual exige que as empresas tenham uma gestão empresarial excelente, e para isso, é preciso que novas estratégias sejam aplicadas. Assim, a simulação de sistemas reais possui grande relevância, já que esta proporciona uma análise e aprimoramento dos processos presentes nas empresas. O presente trabalho apresenta a simulação de um sistema real em uma fábrica de chocadeiras situada na cidade de Belo Horizonte, com o objetivo de identificar os gargalos presentes no sistema produtivo, assim como as ociosidades e análise de custos. Através do método quantitativo, o presente trabalho usou a técnica de simulação discreta e como instrumento para a coleta de dados, a cronoanálise. Para tanto, o software Arena foi utilizado e, a partir dos relatórios gerados, pôde-se cumprir o objetivo proposto e sugerir melhorias para reduzir os gargalos e ociosidades do sistema e reduzir os custos gerados.

Palavras chave: Simulação. Sistema. Gargalos. Ociosidade. Custos.

Abstract

The current market requires companies to have excellent business management, and for this, new strategies need to be applied. Thus, the simulation of real systems has great relevance, since it provides an analysis and improvement of the processes present in companies. This paper presents the simulation of a real system in a brooder factory located in the city of Belo Horizonte, aiming to identify the bottlenecks present in the production system, as well as the idleness and cost analysis that they generate for the company. Through the quantitative method, the present work used the discrete simulation technique and as a tool for data collection, the chrono analysis. For this purpose, the Arena software was used, and from the generated reports it can fulfill the proposed objective and suggest improvements to reduce system bottlenecks and idleness and reduce the costs generated.

Keywords: Simulation. System. Bottlenecks. Idleness. Cost.



1 INTRODUÇÃO

É inegável a importância das pequenas e médias empresas no Brasil, porém para que elas se mantenham no mercado é necessário que possuam cada vez mais vantagens competitivas, principalmente na sua administração interna.

A simulação é uma excelente aliada para que os processos da empresa sejam entendidos e avaliar várias estratégias para a operação do sistema (SHANNON apud ALMEIDA, 2017).

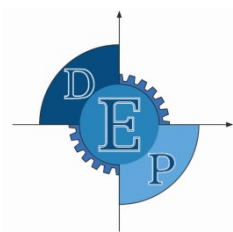
Por meio da simulação, estudam-se os efeitos de certas variações do meio ambiente, da organização ou das informações relativas à operação de um sistema, fazendo-se alterações no seu modelo e observando os efeitos dessas alterações no comportamento desse sistema. As observações detalhadas do sistema que está sendo simulado podem conduzir à sua melhor compreensão e às sugestões para melhorá-lo, o que, de outra forma, não seria possível (NAYLOR, 1971).

A simulação pode ser entendida como uma ferramenta avaliadora de soluções e não como uma ferramenta geradora de soluções já que estas dependem de vários outros métodos para serem solucionadoras de fato (BATEMAN, et al., 2013).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o setor agroindustrial tem participação de aproximadamente 5,9% no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, o que demonstra a importância do desenvolvimento desse estudo, pois a agroindústria brasileira tem sido um fator relevante para a economia brasileira.

Para Prado (2009, p. 16) “o objetivo da modelagem de sistemas é, conhecer o cenário, as características e as necessidades de todos os envolvidos, obter o melhor dimensionamento”, portanto, o detalhamento do processo e suas características são essenciais para que os objetivos do estudo sejam alcançados.

O modelo conceitual tem como objetivo transmitir uma descrição mais detalhada do sistema para que o modelo possa ser traduzido em uma representação no computador. Descrições gerais ajudam a destacar as áreas e processos do sistema que o modelo irá simular, já as descrições detalhadas auxiliam no desenvolvimento de modelos de simulação e codificação (ROSSETTI, 2016).



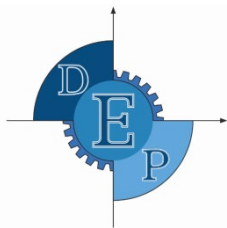
Tendo como base o modelo conceitual, a simulação e modelagem será de grande importância para a empresa, já que uma das principais vantagens da simulação é que ela tem a capacidade de modelar todo o sistema com suas inter-relações e tem como resultado a contabilização dessas relações dentro do modelo e a maior representação da realidade (ROSSETTI, 2016).

A identificação e análise dos gargalos encontrados no sistema justificam a realização de tal estudo, uma vez que auxiliarão nas tomadas de decisões e aprimoramento do processo produtivo da empresa e depois de uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas, procedimentos operacionais, regras de decisão para estruturas organizacionais e fluxo de informações podem ser testados sem interromper as operações em curso.

Este trabalho foi realizado em uma pequena empresa fabricante de chocadeiras (incubadoras de ovos) em Belo Horizonte, atuante no mercado agroindustrial há mais de trinta anos. A meta é identificar os gargalos ou ociosidades presentes no processo produtivo através de simulações no *software* ARENA afim de buscar uma melhoria no processo produtivo em geral. Também espera-se analisar os custos gerados por estes gargalos e pontos ociosos do sistema produtivo.

A partir deste estudo, será possível a aplicação da simulação de processos em outras empresas que passem por problemas semelhantes ao que será apresentado e estudado a fim de melhorar o processo produtivo e consequentemente os resultados administrativos e financeiros da organização.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral analisar os custos gerados pelo processo através da simulação e como objetivos específicos diagnosticar e analisar os gargalos, modelar e simular os sistemas produtivos da fábrica de chocadeiras com o intuito de melhorar sua capacidade produtiva, auxiliando na tomada de decisão.



2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Pesquisa Operacional

A abertura da economia e a globalização, o aumento da automação e o aumento das exigências dos consumidores levaram as empresas a enfrentar constantes mudanças no seu modo gerencial. Assim, para se destacarem no mercado as organizações começaram a buscar novas formas de gestão, técnicas de apoio à gestão e, principalmente, a buscar pelo aprimoramento das operações, todos esses podem ser obtidos através do auxílio da Pesquisa Operacional (PO) (GAVIRA, 2003).

Para Hillier e Lieberman (2013) a pesquisa operacional envolve a pesquisa sobre operações, assim, pode ser aplicada a problemas que compreendem a condução e a coordenação de operações em uma organização. A PO possui um ponto de vista abrangente por adotar um ponto de vista organizacional afim de solucionar conflitos através da melhor solução para a organização.

No Brasil, segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), a Pesquisa Operacional surgiu através da criação dos primeiros cursos de graduação que incluíram disciplinas de PO, como o de Engenharia de Produção, por professores da Universidade de São Paulo, Instituto Tecnológico da Aeronáutica e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

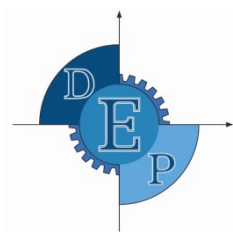
A simulação é uma subárea da Pesquisa Operacional que, através da utilização de processos computadorizados, visa simular o cenário real afim de buscar soluções para o problema encontrado.

2.2 Modelagem

A modelagem é o empreendimento de criar uma representação simplificada de um sistema complexo com o objetivo de fornecer previsões de medidas de desempenho do sistema de interesse (ALTIOK e MELAMED, 2007).

Para Prado (2009), o modelo é uma representação de um sistema que pode ser simbólico, matemático ou diagramático e tem como objetivo conhecer o cenário, características e necessidades de todos os envolvidos para obter o melhor dimensionamento do processo.

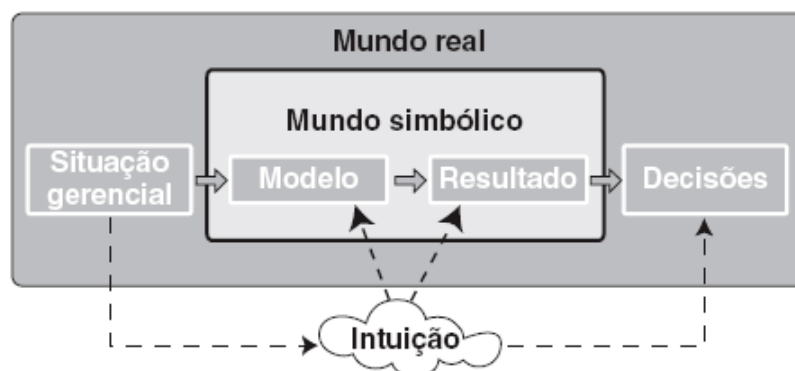
Portanto, para que o modelo seja implementado é necessário que ele tenha desempenho semelhante ao real e que seja de experimentação fácil. A adição de variáveis ao modelo



aumenta a sua complexidade o que pode gerar dificuldades em sua experimentação, podendo gerar custos que não são desejáveis ao processo produtivo (GONÇALVES *et al.* 2017).

A utilização da simulação vem se tornando cada vez mais comum para a solução de problemas uma vez que o acesso às informações e a quantidade de dados disponíveis aumentam cada dia mais. Porém, é importante ressaltar que a intuição gerencial não deve ser deixada completamente de lado, ela juntamente, com a simulação, auxiliam na tomada de decisão porque ajuda a selecionar informações relevantes, no estudo de possíveis cenários, na validação do modelo e na análise de seus resultados (LACHTERMACHER, 2018). Na figura 1 é esquematizado o processo de tomada de decisão, que nasce de uma situação gerencial, é feito um modelo, alcança-se um resultado e decisões são tomadas. Devemos ressaltar que todas essas situações passam pelo campo da intuição, onde são devidamente analisadas.

Figura 1: processo de tomada de decisão



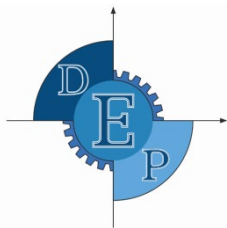
Fonte: Lachtermacher, 2018.

2.3 Simulação

A simulação é o melhor método para observar todo o processo produtivo real e pode ser usada para deduzir como o sistema irá operar e através dessa dedução, entender e provar a performance do processo.

Para Prado (2014) depois do surgimento dos computadores foi possível analisar a modelagem pela simulação, apenas imitando o funcionamento do modelo real e não mais por fórmulas matemáticas.

“Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital” (PRADO, 2014 p. 9).



Segundo Altiok e Melamed (2007) a simulação vem sendo aplicada para estimar indicadores de desempenho e responder perguntas do tipo “e se” e, mais recentemente, para treinar trabalhadores no uso de novos sistemas. A simulação também tem tido várias outras aplicações tais como:

- a) Estimar a produtividade em sistemas produtivos, sistemas de estoque, processos de manufatura e operações logísticas;
- b) Conceber e planejar a capacidade dos sistemas computacionais e das redes de comunicação com o objetivo de minimizar os tempos de resposta;
- c) Realização de jogos de guerra para treinamento militar e também avaliar a eficácia das operações militares propostas;
- d) Melhorar as operações financeiras e de apoio, e sistemas de transporte e aeroportos;
- e) Avaliar e melhorar as operações portuárias marítimas com o objetivo de encontrar formas de reduzir os tempos de porto dos navios.

Para Miyagi (2006), a simulação possui vantagens e desvantagens. Como vantagens é destacado a versatilidade da ferramenta podendo ser utilizada para análise de procedimentos operacionais, fluxo de informações, possibilidades de layout de fábrica, implantação de novos equipamentos e novas técnicas de produção. Outra vantagem essencial é o uso da simulação para a identificação de gargalos no processo.

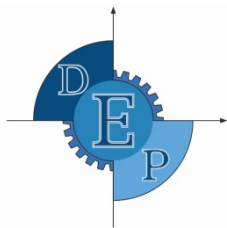
Já as desvantagens são decorrentes da falta de respostas objetivas aos problemas analisados, porém, pode ser resolvido através de indicadores disponíveis que podem servir como informações que ajudem no processo da tomada de decisão (AVELAR *et al.* 2016).

2.3.1 Etapas da simulação

A simulação envolve a modelagem de sistemas, e as etapas da simulação devem ser baseadas nos princípios de resolução de um problema através de análises.

Segundo Rossetti (2016) as etapas generalizadas da simulação são:

- a) Definição do problema: essa etapa garante que o problema seja resolvido da maneira correta;
- b) Estabelecimento de medidas de desempenho para avaliação: essa etapa ajuda na percepção do motivo pelo qual o problema deve ser resolvido, ou seja, as medidas de desempenho devem ser coerentes com o problema a ser resolvido;



- c) Gerar soluções alternativas: esse passo assegura que o problema será avaliado e analisado;
- d) Classificar as soluções alternativas: garante que uma solução correta seja encontrada;
- e) Avaliar e repetir o processo: o processo é avaliado e permite a iteração (repetição de uma ou mais ações até que o nível desejado de modelagem seja alcançado);
- f) Executar e avaliar a solução: nesse passo a solução encontrada deve ser executada e implementar as decisões tomadas, com base nos resultados obtidos na simulação.

2.4 Software Arena

Lançado em 1993 pela empresa *Systems Modeling*, o ARENA foi concebido através de melhoramentos de softwares já existentes, SIMAN e CINEMA, que juntando a simulação geral com a animação gráfica deram origem ao novo produto da empresa. (PRADO, 2014).

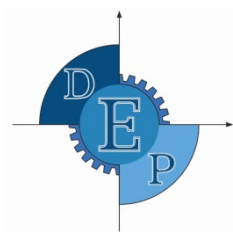
O programa possui um ambiente gráfico de simulação com os recursos necessários para a modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. Além disso possui módulos utilizados para descrição de um sistema real e que funcionam como comandos para a linguagem de programação. (PINTO *et al.* 2007).

2.4.1 Custos

Para a avaliação de desempenho do sistema, é fundamental a análise de custos do mesmo.

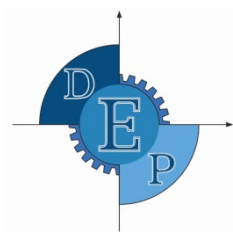
Para Rossetti (2016) através do *software* ARENA é possível inserir dois tipos de custo relacionado ao modelo: o custo relacionado aos blocos de recursos e os relacionados ao bloco de entidades.

- a) Custo de recursos: o cálculo de custos de recursos permite que os custos sejam tabulados com base no tempo que um recurso está ocupado ou ocioso e o custo pode ser atribuído a cada vez que o recurso é usado;
- b) Custo de entidade: este custo é um pouco mais complexo do que o custo de recursos. O ARENA possui cinco categorias diferentes de atividades:
 - *Waiting Time*: o tempo de espera é qualquer tempo designado a aguardar. O tempo de espera nas filas é por padrão alocado como tempo de espera. O custo de espera é o custo associado a uma entidade designada *wait time*. Esse custo inclui o



valor do tempo que a entidade gasta no estado de espera e o valor dos recursos que são mantidos pela entidade durante o tempo;

- *Value-Added Time*: o tempo com valor agregado é qualquer tempo designado como valor adicional. Esse tempo contribui diretamente com o valor para a entidade durante a atividade. O custo de valor agregado é o custo associado a uma entidade designada *value-added time*. Esse custo inclui o valor do tempo que a entidade gasta na atividade de valor agregado e o valor dos recursos que são mantidos pela entidade durante a hora;
- *Nonvalue-added time*: o tempo não adicionado ao valor é qualquer tempo designado como sem valor adicionado. O tempo sem valor agregado não contribui diretamente com o valor para a entidade durante a atividade, como por exemplo o tempo de separação de matéria prima para determinada atividade. A designação do tempo sem valor agregado pode ser subjetiva. Como uma regra, se o tempo pudesse ser reduzido ou eliminado e a eficiência aumentada sem custo, então o tempo pode ser considerado como sem valor adicionado. O custo não adicionado é o custo associado ao tempo de não valor agregado de uma entidade. Este custo inclui o valor do tempo que a entidade gasta na atividade sem valor agregado e o valor dos recursos que são mantidos pela entidade durante o tempo;
- *Transfer time*: o tempo de transferência pode ser considerado um caso especial de tempo sem valor agregado, no qual a entidade passa por uma movimentação. Por padrão, todo tempo gasto usando dispositivos de manuseio de materiais (como transportadores), é especificado como tempo de transferência. O custo de transferência é o custo associado a um tempo de transferência designado da entidade. Esse custo inclui o valor do tempo que a entidade gasta na atividade de transferência e no valor dos recursos mantidos pela entidade durante o tempo;
- *Other time*: essa categoria é um resumo para todas as atividades que não se encaixam naturalmente as outras quatro categorias.



3 METODOLOGIA

Através do método quantitativo, o presente trabalho usará a técnica de simulação discreta utilizando como ferramenta o *software* ARENA e como instrumento a cronoanálise.

3.1 Simulação Discreta

A simulação discreta é aquela que possui variáveis com valores finitos ou infinitos numeráveis. Para Mello e Turrioni (2012), conduzir uma pesquisa através da modelagem e simulação tem como propósito:

- a) Conhecer mais a fundo a forma de operação do sistema;
- b) Desenvolver políticas operacionais e recursos para aperfeiçoar o desempenho do sistema;
- c) Testar novos conceitos e/ou sistemas, antes de implementá-los;
- d) Obter informações sem incomodar o sistema atual.

3.2 Coleta de dados

Através da crono análise (cronometragem dos tempos de cada operação), será possível determinar os intervalos de chegada em cada etapa e o tempo de atendimento nos processos, assim, será possível determinar os tempos de fila, número de clientes, taxa de ocupação dos servidores, e calcular os custos totais relacionados a ocupação e ociosidade dos equipamentos. É necessário que se faça a coleta em um intervalo de tempo de 15 dias.

3.3 Macro fluxograma

Visando uma melhor visualização do sistema produtivo, foi construído um macro fluxograma do processo, ou seja, um fluxograma geral de como a fabricação do produto é feita.

O processo produtivo de incubadoras possui, como entrada de matéria prima, as placas de polietileno (PET) e como saída do produto acabado, as chocadeiras. A fabricação possui sub processos: corte do material, moldagem das placas, montagem do produto, teste, reparo e embalagem do produto, como mostra a figura 2.

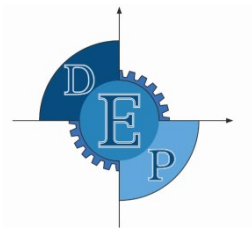
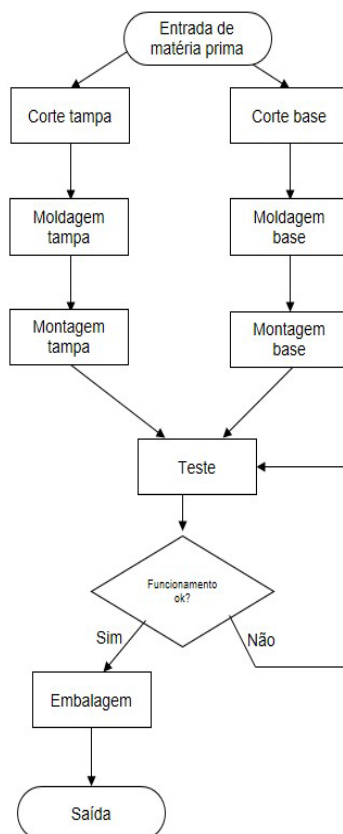


Figura 2: Macrofluxograma do processo de produção de chocadeiras



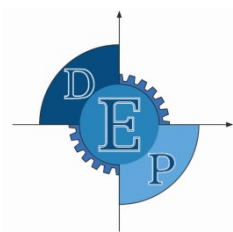
Fonte: Elaborado pelos autores

3.4 Modelagem no Arena

Assim como a maioria dos *softwares* de simulação existentes, o ARENA possui a visualização do sistema modelado como um conjunto de estações de trabalho que possuem um ou mais recursos que prestam serviços a clientes. Os clientes são as entidades ou transações, que podem se mover através do sistema modelado, através de transportadores, correias ou pela própria entidade. (PRADO, 2014).

Os principais passos de uma modelagem utilizando o *software* ARENA são (ALMEIDA apud ROCKWELL, 2014):

- a) Criação de um modelo básico: arrastando-se os blocos lógicos que representam processos decisórios, para dentro da área de projeto. Os blocos são conectados de forma a seguirem um fluxo de informação que é uma representação do processo real a ser modelado;



- b) Refinamento do modelo: através das ferramentas de acompanhamento de simulação é possível verificar o modelo identificando os erros lógicos e melhorar a modelagem de forma a obter um modelo claro e conciso;
- c) Simulação do modelo: será possível verificar se realmente o modelo reflete o sistema. Caso o modelo seja válido, pode-se dar início as simulações, utilizando diferentes cenários de forma a identificar melhorias;
- d) Análise dos resultados da simulação: Após a simulação, o software gera relatórios automáticos com dados específicos como taxa de utilização dos recursos ou tempos de espera;
- e) Seleção da melhor alternativa: baseando-se nos resultados da análise é possível selecionar a melhor solução para o problema e testá-la exaustivamente.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Contextualização da empresa

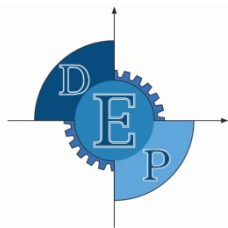
A empresa é do ramo industrial, sendo de pequeno porte no Estado de Minas gerais, na cidade de Belo Horizonte. Fundada em 1989, a empresa produz incubadoras de ovos artificiais.

O presente estudo procura analisar, por meio de técnicas de simulação, quais são os processos que ocasionam gargalos e ociosidades do processo assim como os possíveis custos gerados pelos gargalos. Assim, a simulação torna-se importante porque pode mostrar onde o processo pode ser melhorado e evitar desperdícios de tempo e dinheiro.

Para entendimento do processo que este trabalho aborda, foi criado um fluxograma a fim de exemplificar o processo.

O fluxograma apresentado na figura 3, trata-se do processo completo de produção do produto final. Vários processos são feitos simultaneamente e se iniciam com a chegada de matéria prima como as placas de poliestireno (PS), Politereftalato de etileno modificado com glycol (PET-G), cano de policloreto de vinil (PVC) e tela de alumínio ou produto que será beneficiado ou testado, como os termostatos, resistências, ventiladores e motores.

O produto final é composto por duas partes principais: tampa e base. Essas duas partes são fabricadas separadamente, porém, simultaneamente.



Após a chegada da placa de PET-G, que são utilizadas para fazer a tampa da chocadeira, as mesmas são levadas para o setor de moldagem. Primeiro é feito o aquecimento da placa em forno industrial seguindo as especificações, após o aquecimento a placa ainda quente entra na máquina de moldagem para tomar o formato desejado da tampa do equipamento. A placa permanece na máquina de moldagem também seguindo as especificações de fabricação. Depois de resfriada na mesma máquina em que foi moldada, a peça segue para o setor de furação, onde serão feitos os furos manualmente pelo operador.

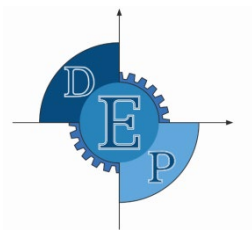
Os termostatos chegam na fábrica e são testados logo em seguida, para verificação de funcionalidade. Se o equipamento está funcionando de forma correta segue para a montagem na caixa de alumínio, caso o termostato não estiver funcionando de forma correta ele é devolvido ao fornecedor. Após a montagem na caixa de alumínio, o termostato segue para a montagem dos cabamentos e depois para um novo teste. Se o funcionamento estiver correto, o equipamento segue para a montagem da tampa, caso não esteja correto, ele volta para o setor de montagem do cabeamento para que o problema seja solucionado.

Já as resistências, após sua chegada, só passam por um único teste. Se o funcionamento estiver seguindo as especificações, ela segue para o setor de montagem da tampa. Se não, o equipamento é devolvido ao fornecedor.

Os ventiladores são testados após sua chegada e se estiverem com o funcionamento correto segue para a montagem de cabeamento. Se não estiver funcionando corretamente o ventilador é devolvido ao fornecedor. Após a montagem do cabeamento o equipamento é submetido a um novo teste em que se estiver de acordo com as especificações de funcionamento segue para o setor de montagem da tampa, caso contrário, ele volta para o setor de montagem de cabeamento.

Após a montagem da tampa ela segue para o setor de montagem da chocadeira.

Os motores ao chegarem, passam pelo setor de teste, se o funcionamento estiver correto ele segue para o setor de montagem do chassi. Caso contrário, é devolvido para o fornecedor. Após a montagem do chassi, o motor segue para a montagem do braço do motor e braço oscilante e segue para a montagem do motor e barra de tração no processo que será descrito a seguir.

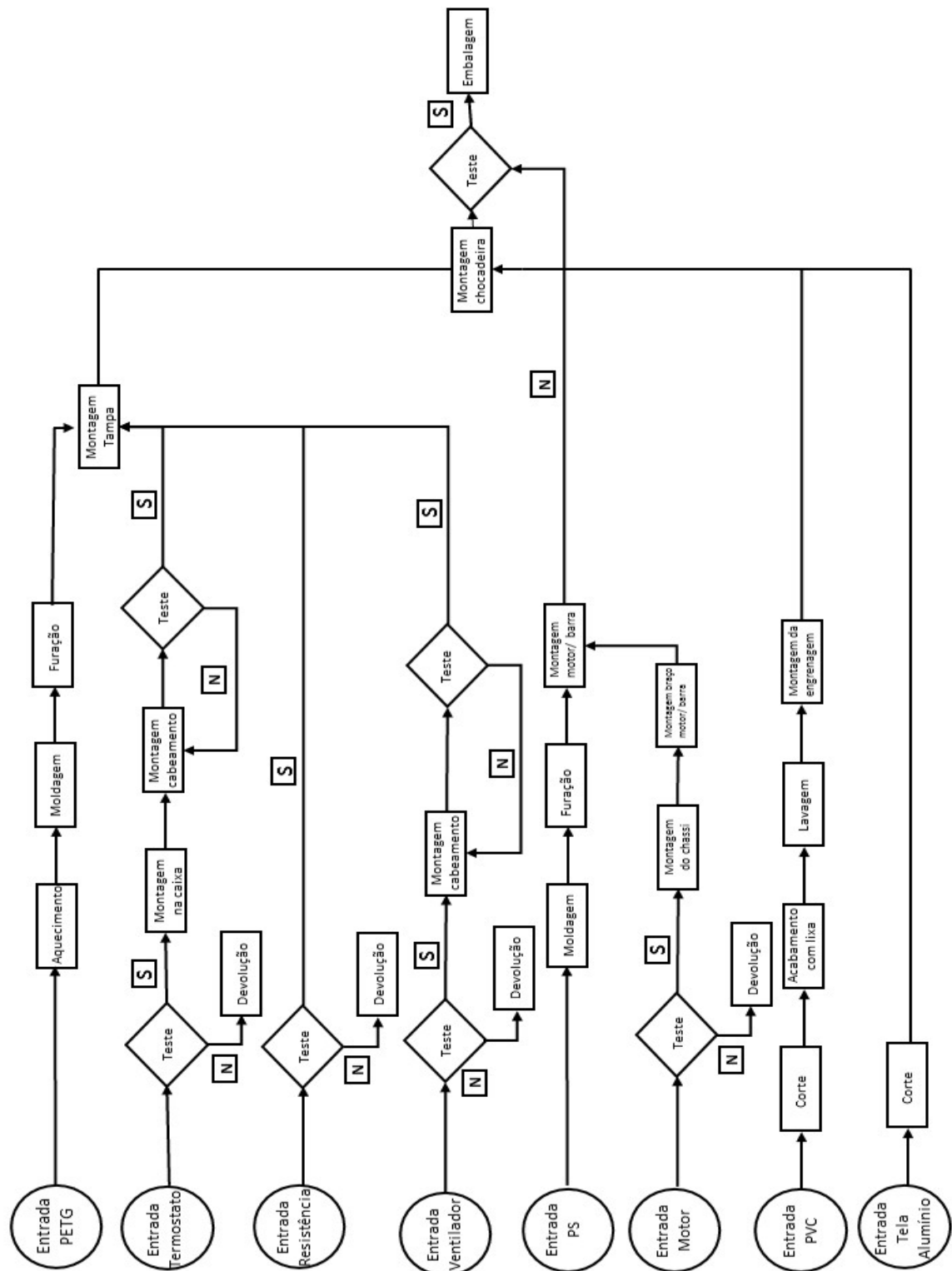


O material PS chega à fábrica e segue para o setor de moldagem onde será colocado em uma máquina que fará o aquecimento e a moldagem do material. Após a moldagem a peça que dará origem a base da chocadeira, seguirá para o setor de furação e posteriormente para a montagem do motor e barra de tração na peça. Após essa montagem a peça segue para a montagem da chocadeira.

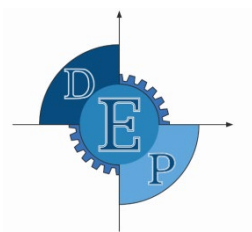
Paralelamente a esses processos, ocorre a fabricação dos roletes que tem seu início na chegada de tubos de PVC. Os tubos vão para o setor de corte e após o corte tem o seu acabamento feito com lixa. Os roletes são lavados e seguem para a montagem das engrenagens. Após esse processo os roletes são encaminhados para o setor de embalagem.

Depois da montagem da chocadeira, ela vai para o setor de testes. Se após o teste o equipamento estiver funcionando corretamente, ele é encaminhado para o setor de embalagem. Caso contrário o equipamento volta para o setor de montagem de chocadeiras para a identificação do problema e seu reparo.

Figura 3: Fluxograma do processo



Fonte: elaborado pelos autores



4.2 Problemática de Estudo e Modelo Lógico

Uma vez conhecido o processo de fabricação de chocadeiras, é possível perceber que se trata de um processo grande, onde várias atividades ocorrem simultaneamente e são dependentes umas das outras. Assim, a simulação é de grande importância, pois através dela será possível identificar os gargalos do sistema, assim como as ociosidades do processo produtivo. Através do resultado deste estudo, foi possível minimizar os impactos que são causados, identificando onde o problema estava, qual o custo disso para a empresa e como pôde ser solucionado.

O modelo lógico feito no software Arena, demonstra a dinâmica em que o processo funciona. Este modelo possui valores como tempo e recursos disponíveis, que permitem a identificação dos erros para futuras melhoras no processo. A partir da figura 3 foi possível elaborar o modelo lógico apresentado na figura 4.

Os seguintes blocos foram utilizados para criar o modelo lógico:

- a) *Create*: Entradas
- b) *Dispose*: Saídas
- c) *Process*: Processo do sistema
- d) *Decide*: Decisões

Através da coleta de dados em campo foram obtidos os dados referentes aos tempos de cada processo. Já os dados relativos aos custos de cada entidade por hora de trabalho, foram fornecidos pela empresa.

Após a coleta de dados, os mesmos foram colocados em seus respectivos blocos do software, que então pôde dar início a modelagem do sistema.

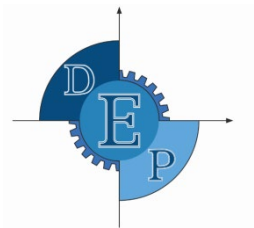
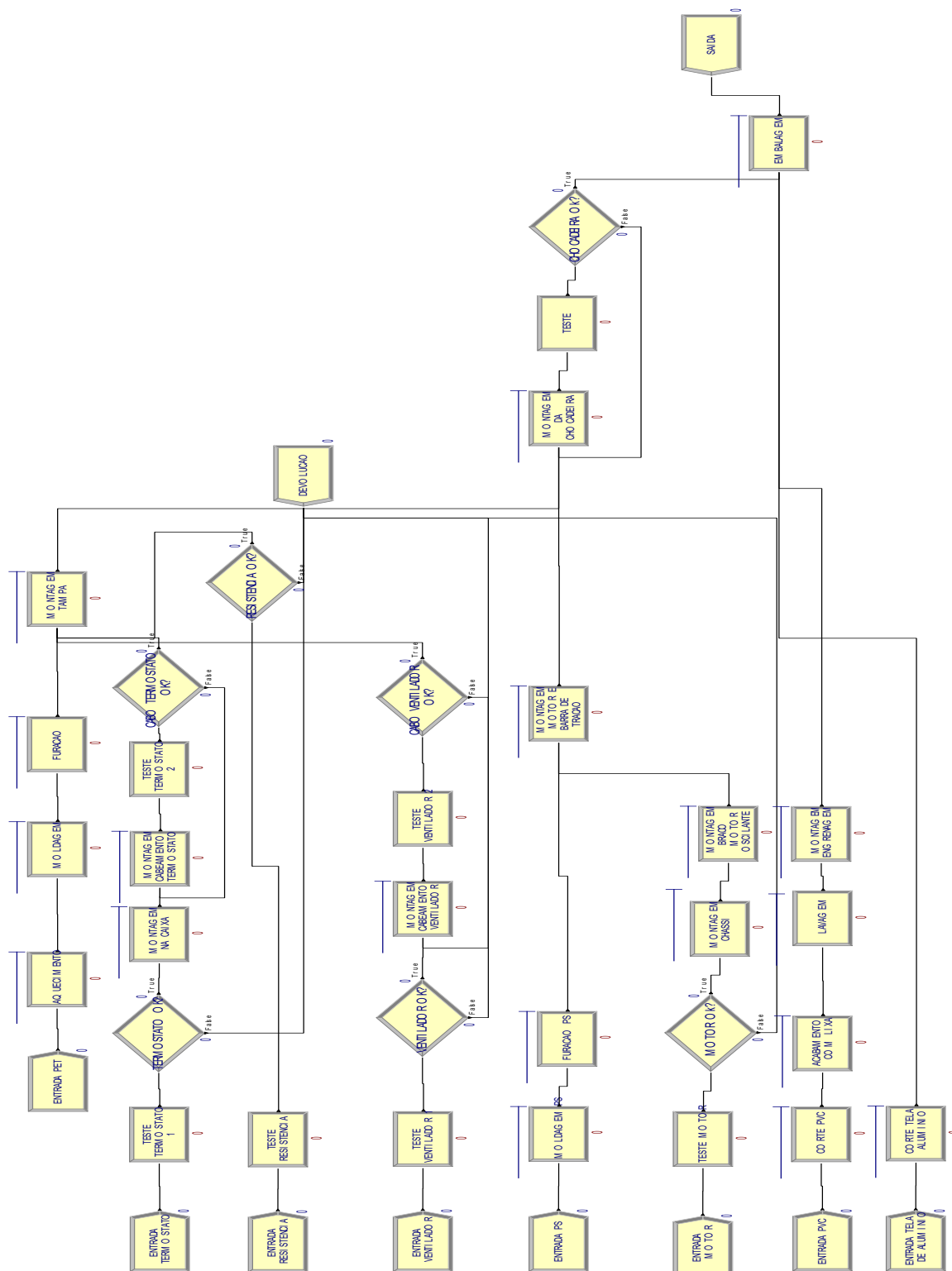


Figura 4: modelo lógico do processo criado no *software* Arena



Fonte: *Software* Arena.



4.3 Análise de Resultados

A partir do relatório gerado pelo software Arena, foi possível obter os resultados gerados pela simulação e está dividido em: entidades, processos, filas e recursos.

4.3.1 Variáveis fundamentais

a) Tempo

Foram considerados três tempos principais para as entidades: tempo de valor agregado, tempo de espera e tempo total da entidade dentro do sistema.

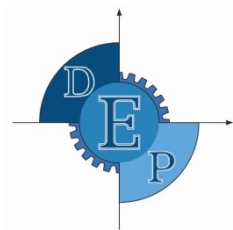
- Tempo de valor agregado: tempo em que cada entidade (peça) do sistema passou em atividades de valor agregado;
- Tempo de espera: tempo em que cada entidade passou em filas ou qualquer processo ou atraso;
- Tempo total: tempo em que cada entidade passou dentro do sistema.

Em todos os três tempos as entidades que possuem maior tempo são: motor, PET e PS. Como mostrado na tabela 1. Esse resultado obtido é justificado por serem peças que passam por muitos processos até chegarem ao produto final. PET e PS, são peças principais para a montagem da chocadeira, passam por longos processos até chegarem ao produto final, ou seja, são as peças que farão parte do “corpo” do equipamento. Já o motor, também passa por diversos processos, antes de sua montagem na base da chocadeira.

Tabela 1 - Tempos principais para entidades

Entidades	Tempo médio de valor agregado (min.)	Tempo médio de espera (min.)	Tempo médio total (min.)
Motor	116,26	727,28	843,54
PET	148,62	935,13	1083,75
PS	145,2	937,43	1082,63
PVC	21,17	27,8	48,98
Resistência	115,88	720,69	836,57
Tela de alumínio	20,17	49,35	69,53
Termostato	87,8	545,05	632,85
Ventilador	82,03	493,66	575,7

Fonte: Elaborado pelas autoras



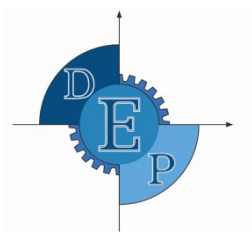
Foram considerados três tempos principais para os processos. São eles:

- *Wait Time per Entity*: O tempo de espera é o tempo que uma entidade gasta em alguma atividade de um processo, onde o alocamento é especificado como espera. Por padrão, o tempo gasto em uma fila é especificado como espera. O maior tempo de espera é no processo de montagem da chocadeira, o que é justificável já que o segundo maior tempo de processo é o de teste, como pode ser visto na tabela 2, processo este que vem depois do processo de montagem, o que gera um atraso no mesmo;
- *Total time per Entity*: O tempo total é o tempo que uma entidade gasta em todas as atividades de um processo. O processo com maior tempo total é o de montagem de chocadeiras, seguido do processo de teste como mostrado na tabela 2;
- *Accum Wait Time*: é o Tempo Acumulado para Tempo de Espera. Soma, para cada tempo de espera o tempo em que cada entidade passou dentro do processo. O maior tempo acumulado para tempo de espera é o processo de montagem da chocadeira, como pode ser visto na tabela 2.

Portanto, podemos concluir que os processos de montagem da chocadeira e teste, são os processos com maiores tempos, e, portanto, são gargalos do sistema em estudo.

Tabela 2 - Tempos principais para processos

Processos	Tempo médio de espera (min.)	Tempo médio total (min.)	Tempo médio acumulado para espera (min.)
Acabamento com lixa	0,74	1,74	4251,8
Aquecimento	2,18	4,18	418,3
Corte PVC	0,71	1,71	4186,75
Corte tela de alumínio	24,84	29,85	69723,27
Embalagem	24,78	39,95	218485,67
Furação	0	0,99	99,88
Furação PS	0,11	1,11	2594,95
Lavagem	0,73	2,77	6645,41
Moldagem	0	1,5	150
Moldagem PS	2,28	5,78	13569,46



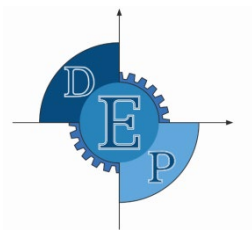
Processos	Tempo médio de espera (min.)	Tempo médio total (min.)	Tempo médio acumulado para espera (min.)
Montagem Braço do motor/oscilante	0,18	1,11	2609,75
Montagem chassi	0.2	2.44	5717.18
Montagem da chocadeira	968.83	970.83	7703731.7
Montagem engrenagem	0.74	2.75	6684.1
Montagem motor e barra de tração	0.1	3.61	16900.92
Montagem na caixa	0.02	6.35	14564.21
Montagem tampa	0.37	7.37	51998.9
Teste	723.16	843.16	706533.96
Teste motor	0.11	1.11	2647.34
Teste resistência	0.37	1.37	3257.64
Teste termostato 1	0.02	1.02	2466.43
Teste termostato 2	0.02	4.02	9397.82
Teste ventilador 1	0.02	1.02	2527.47
Teste ventilador 2	0.02	1.02	2525.53

Fonte: Elaborado pelas autoras.

b) Número de entidades

- *Number In*: é o número de entidades que entraram em determinado processo. O processo que teve maior número de entradas de entidades foi o de montagem de chocadeiras, com 11756 peças, e é justificável devido a todas as peças chegarem a esse único processo;

c) Tempo de espera em fila: Corresponde ao Tempo de Espera em cada fila, o qual é definido como o período de tempo desde que a entidade entra na fila até a hora em que ela a deixa. O maior tempo de espera na fila é o do processo de montagem da chocadeira. O período de tempo médio em que uma entidade permanece na fila do processo de montagem da chocadeira é de 969 minutos, seguido pelo processo de teste que tem o tempo médio de 723 minutos de tempo de espera;

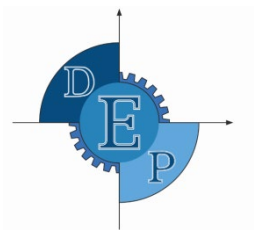


- d) Tamanho da fila: Corresponde ao tamanho que a fila alcançou em determinado período de tempo. O processo com maior tamanho de fila é o de montagem da chocadeira, com 3819 entidades na fila. O processo de teste, é o processo que possui um tempo grande e por ser o processo que sucede a montagem de chocadeira, é necessário que este acabe para que a próxima chocadeira seja montada, o que justifica a maior fila ser no processo de montagem de chocadeira;
- e) Uso: Relata as estatísticas na utilização de recursos em algum instante de tempo (número ocupado/número programado). Os recursos mais utilizados são: cortador de tela de alumínio e monta chocadeira com quase 100% de utilização mostrado na tabela 3. Os recursos cortador de PVC, moldador PS, monta caixa e montador tampa também estão com uma taxa de utilização em quase 90%, indicando um desequilíbrio na utilização dos recursos. Pode-se explicar as altas taxas devido a quantidade de atividades realizadas por cada recurso. Os recursos aquecedor, furadeira e moldador possuem uma taxa de utilização bem pequena e pode ser justificado por serem processos que utilizam máquinas como recursos. Já os outros recursos são operadores humanos.

Tabela 3 - Média utilização dos recursos

Recursos	Média de utilização
Aquecedor	0,083
Cortador PVC	0,87
Cortador tela alumínio	0,98
Furadeira	0,04
Furadeira PS	0,8
Moldador	0,06
Moldador PS	0,85
Monta chocadeira	0,99
Monta caixa	0,71
Montador tampa	0,86

Fonte: Elaborado pelas autoras



4.4 Custos de produção

4.4.1 Custos de entidades

- **Custo de valor agregado:** O custo de valor agregado é o custo associado a uma entidade designada com tempo de valor agregado. Esse custo inclui o valor do tempo que a entidade gasta na atividade de valor agregado e o valor dos recursos que são mantidos pela entidade durante um tempo. A tabela 4, mostra o custo de valor agregado das entidades do sistema. As entidades que possuem maior valor agregado são: PET, PS. Essas entidades são as que mais possuem processos relacionados a elas e, portanto, passam mais tempo em atividades de valor agregado, e por isso possuem maior custo de valor agregado.

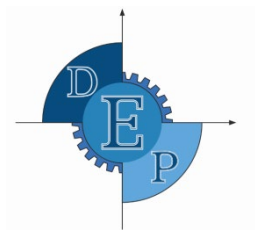
Tabela 4 - Custo de valor agregado

Entidades	Custo médio de valor agregado (reais)	
Motor	R\$	14,80
PET	R\$	19,48
PS	R\$	18,72
PVC	R\$	1,57
Resistência	R\$	15,19
Tela de alumínio	R\$	1,39
Termostato	R\$	10,95
Ventilador	R\$	10,62

Fonte: Elaborado pelas autoras

4.4.2 Custos dos recursos

- *Busy Cost:* custo do recurso quando ele está ocupado. Na tabela 5, pode-se ver que o recurso que tem o custo mais alto quando está ocupado é a monta chocadeira com o custo de 16,104.56 reais. Isso ocorre devido ao fato de o recurso ter a taxa de ocupação muito grande, 99%, como foi visto na tabela 3. Também é possível observar que o custo do cortador de tela de alumínio também é alto e podemos relacionar com a sua taxa de ocupação que está em 98%. Já os recursos que possuem menor custo, como o aquecedor, furadeira e moldador, possuem a taxa de ocupação menor como visto anteriormente. O mesmo acontece com os outros recursos, mostrando que a taxa



de ocupação e o custo ocupado tem uma relação diretamente proporcional, então, quanto maior a ocupação maior será o custo do recurso;

Tabela 5 - Custo médio do recurso ocupado

Recursos	Média do custo ocupado
Aquecedor	R\$ 41,67
Cortador PVC	R\$ 1.267,64
Cortador tela alumínio	R\$ 6.556,62
Furadeira	R\$ 6,92
Furadeira PS	R\$ 2.007,18
Moldador	R\$ 10,40
Moldador PS	R\$ 1.136,10
Monta chocadeira	R\$ 16.104,56
Monta caixa	R\$ 2.986,06
Montador tampa	R\$ 7.159,52

Fonte: Elaborado pelas autoras

- *Idle Cost*: custo do recurso quando ele está ocioso. É possível observar na tabela 6 os custos médios dos recursos quando estão ociosos. Os recursos que tem o maior custo quando está ocioso é o monta caixa e montador tampa, pois são recursos que fazem parte de vários processos ao longo da cadeia produtiva, e, quando ociosos possuem um custo alto para a empresa. Em comparação ao custo do recurso ocupado, os recursos aquecedor, furadeira e moldador possuem maior custo quando ociosos, podemos relacionar com a taxa de ocupação dos mesmos, que é bem inferior aos demais recursos. Porém, não apresentam grandes prejuízos a empresa, porque são necessários apenas um recurso de cada para que cada processo seja realizado. Então, quanto menor a taxa de ocupação maior será o custo ocioso, são, portanto, inversamente proporcionais.

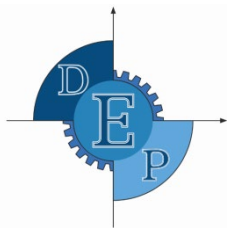


Tabela 6 - Custo médio do recurso ocioso

Recursos	Média do custo ocioso	
Aquecedor	R\$	458,33
Cortador PVC	R\$	187,82
Cortador tela aluminio	R\$	78,92
Furadeira	R\$	159,48
Furadeira PS	R\$	488,30
Moldador	R\$	156,00
Moldador PS	R\$	191,16
Monta chocadeira	R\$	92,86
Monta caixa	R\$	1.171,50
Montador tampa	R\$	1.129,74

Fonte: Elaborado pelas autoras.

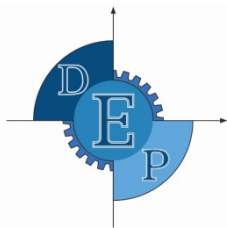
5. Conclusão

A partir dos resultados anteriormente demonstrados, foi possível identificar onde os gargalos estão presentes assim como as ociosidades. Também foi possível perceber quais atividades e recursos estão gerando maior custo para a empresa.

Foi possível verificar, através do estudo da utilização instantânea, tabela 3, que praticamente todo o sistema está sobrecarregado, com exceção dos recursos aquecedor, furadeira e moldador, todos os outros recursos apresentam taxa de utilização superior a 70%, o que podemos concluir que são atividades que geram gargalo no sistema. Os recursos monta chocadeira e corta alumínio são os recursos mais utilizados, com taxa superior a 90%, o que indica sobrecarga de trabalho nesses recursos, o que pode ser justificado através do tempo em que esses processos levam para ser feitos, gerando fila no sistema. O processo monta chocadeira, é o que mais recebe entidades, o que também justifica o fato desse processo ser o maior gargalo do sistema. Também é possível verificar que o processo que utiliza o recurso monta chocadeira, é o processo com maior tempo de espera por entidade, como visto na tabela 2.

O processo que possui o maior tempo é o de montagem de chocadeira, pois é o processo anterior ao do teste que possui o segundo maior tempo total, e, portanto, precisa que os testes sejam finalizados para que outras chocadeiras sejam montadas e testadas.

Também através da taxa de utilização, pode-se perceber que os recursos, aquecedor, furadeira e moldador são recursos ociosos uma vez que suas taxas de utilização não chegam aos 10%. Isso ocorre, devido ao fato dos processos de aquecimento e moldagem serem feitos



por máquinas, o que gera uma agilidade maior no processo, e assim, a taxa de utilização é pequena pois os processos seguintes são feitos por operadores humanos que demandam maior tempo para a realização das tarefas o que gera um atraso nas operações feitas por máquinas.

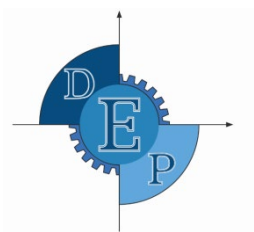
Já o processo de furação, que também apresenta uma taxa de utilização baixa, é justificada por ser uma atividade dependente da moldagem, e, portanto, se uma tem uma baixa taxa, consequentemente a outra também terá.

Como esperado, o recurso que tem o maior custo, quando ocupado, é o monta chocadeira, já que é nesse processo que está localizado o gargalo e apresenta maior taxa de ocupação. Em contrapartida, o que apresenta maior custo quando está ocioso é o monta caixa seguido pelo monta tampa. Esse custo ocioso é justificável devido ao fato de serem recursos que são utilizados em diversas atividades ao longo da produção e se, por algum motivo, pararem, o custo será alto. Já com relação aos custos de recursos ocupados, aqueles que possuem maior taxa de utilização são os que possuem maior custo.

Portanto, pode-se dizer que a simulação através do software Arena é um grande aliado para o gerenciamento da produção nas empresas, visto, a simulação é uma estratégia eficiente para a competitividade no mercado atual.

É importante destacar a importância da observação das operações da produção, pois são estas que mostram onde as ações devem ser empregadas para a melhoria de todo o processo. Foi através dessa observação e coleta de dados que foi possível a identificação dos gargalos e ociosidades do sistema, assim como os custos gerados pelos mesmos.

Atualmente a empresa encontra gargalos em praticamente todos os processos, como demonstrado pela simulação. Isso ocorre devido ao fato de cada operador realizar diversas tarefas ou pelo tempo em que o processo demora, o que gera gargalos no sistema e consequente atraso na produção. Para tal problema, é sugerido a contratação de outros operadores além da realocação de atividades para cada operador. Assim, operadores que possuem um menor número de atividades e, um tempo ocioso maior, podem realizar outras atividades onde os gargalos se encontram e onde há os maiores gargalos, novos operadores podem ser contratados.



Contudo, é importante salientar, que trabalhos futuros, com uma coleta de dados mais consistente e análise minuciosa do sistema produtivo, podem vir a ser de grande importância para entender melhor o sistema apresentado neste trabalho e melhorá-lo ainda mais

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes. **Pesquisa operacional: notas de aulas**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Instituto Politécnico – IPUC, Curso de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2017

ALTIOK, Tayfur., MELAMED, Benjamin (2007). **Simulation Modeling and Analysis with ARENA**. Piscataway, New Jersey: ELSEVIER

AVELAR, M. P. M., HENRIQUES, M. R., JUBINI, S. V., LEOPOLDO, B. P., VITOR, S. S. **Carregamento e descarregamento de navios na zona portuária de vitória – ES: simulação com modelo desenvolvido no software ARENA**. João Pessoa: ENEGEP, 2016.

BATEMAM, R. E., BOWDEN, R. O., GOGG, T. J., HARRELL, C. R., MOTT, J. R., & MONTEVECHI, J. B. (2013). **Simulação de Sistemas**. Rio de Janeiro: ELSEVIER

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. São Carlos, 2003.

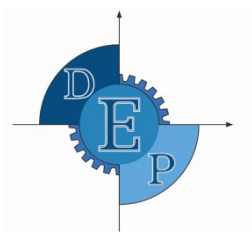
GONÇALVES, V., MUROLO, A. C., SILVA, E. M., SILVA, E. M. **Pesquisa Operacional – Para os cursos de Administração e engenharia: programação linear: simulação**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. F. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. Ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

NAYLOR, T. H. **Técnicas de Simulação em Computadores**. São Paulo: Ed. Vozes, 1971.

MELLO, C. H. P., TURRIONI, J. B. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: UNIFEI, 2012.



MIYAGI, P. E. **Introdução a simulação discreta**. São Paulo, 2006.

PINTO, M. G., SILVA, L. M. F., SUBRAMANIAN, A. **Utilizando o software ARENA como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção**. Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007.

PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. 4. ed. Belo Horizonte: INDG, 2009.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA em simulação**. 5. ed. Nova Lima: FALCONI editora, 2014.

Resultados e impactos positivos da pesquisa agropecuária na economia, no meio ambiente e na mesa dos brasileiros. **EMBRAPA**, Brasília. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/agroindustria>>. Acesso em: 17 de abril de 2019.

ROCKWELL, A. **Arena User's Guide**. New York: Rockwell Automation, Inc., 2014.

ROSSETTI, Manuel D. **Simulation Modeling and Arena**. Hoboken, New Jersey, 2016.