

ESTUDO DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA MICROEMPRESA METAL MECÂNICA POR MEIO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

STUDY OF PRODUCTIVE PROCESS OF A METAL MECHANIC MICROENTERPRISE THROUGH MODELING AND SIMULATION SYSTEMS

Bruna Maria Gerônimo*

Juliana Soares Curce

Luiz Gustavo Cavalcanti Jardim

Manoel Francisco Carreira

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Av. Colombo, 5790, CEP 87.020-900, Maringá – Paraná.

*Autor para correspondência. E-mail: brunamgeronimo@hotmail.com

Resumo

Este artigo visa demonstrar a importância da simulação computacional na exploração da produtividade de uma fábrica de sistemas de aquecimento solar, além de criar e analisar cenários que auxiliem na melhor tomada de decisão. Para isto, construiu-se uma revisão de literatura, foram coletados dados in loco em uma microempresa, modelou-se o sistema produtivo da empresa, analisou-se a simulação realizada no software FlexSim®, e foram criados e analisados diferentes cenários. Estes cenários foram divididos em três perspectivas e diferiam entre si em relação ao número de máquinas e de operadores, a fim de se obter possíveis soluções para os problemas encontrados na simulação, que englobavam a ociosidade e o bloqueio das máquinas, criação de volumosos estoques intermediários e ociosidade e movimentação desnecessária dos operadores. Não foram considerados aspectos da qualidade das operações e dos produtos, custos das soluções, rearranjos de layout e realocação de mão de obra. Com base unicamente no aumento da produtividade (quantidade de produtos expedidos no tempo simulado) da empresa, o melhor resultado foi encontrado na perspectiva 3, que apresenta o cenário em que foram cruzadas mudanças na quantidade de mão de obra e de processos chave, o que gerou um aumento de 50% na produtividade da empresa em relação ao cenário original.

Palavras-chave: *simulação; produtividade; cenários.*

Abstract

This article seeks to demonstrate the importance of computational simulation in the exploitation of productivity of a solar heating systems factory, besides creating and analyzing scenarios for better decision making. For this, a literature review was built, data were collected in loco in a microenterprise, the production was modeled, the simulation performed

on the FlexSim[®] software was studied, and some scenarios were created and analyzed. These scenarios were separated among three perspectives, presenting different number of processors and operators, and represented possible solutions for the problems found in the simulation, that involved processors idleness, high work in process level and idleness and unnecessary movimentation of the operators. It wasn't considered quality dimensions of operations and products, solutions costs, layout rearrangements and labor reallocation. Based on the productivity (number of products shipped in the simulated time), the best result was the perspective 3, in which were crossed changes in the amount of labor and key processes, what increased 50% of the productivity related to the original scenario.

Key-words: *simulation; productivity; scenarios.*

1. Introdução

Criam-se no Brasil mais de 1,2 milhões de novos empreendimentos formais, sendo que 99% desse valor são micro e pequenas empresas e empreendedores individuais (SEBRAE, 2011). Isso provoca um crescente aumento da concorrência no mercado nacional, exigindo que as empresas busquem cada vez mais ferramentas que promovam melhorias na qualidade de seus processos produtivos, produtos e serviços, a fim de obterem diferenciais competitivos que permitam sua permanência no mercado (JOAQUIM, 2005).

Nesse sentido, as microempresas devem apresentar uma cadeia produtiva organizada e consistente, mas que também seja flexível e dinâmica para que possam atender às exigências dos consumidores e, portanto, consigam manter-se no mercado ao competirem com as empresas maiores. A Engenharia de Produção surge como fator chave para que essas empresas consigam melhorar a eficiência de seus processos produtivos, visando a estruturação e otimização de sua cadeia produtiva, pois possibilita o desenvolvimento e aplicação de ferramentas importantes na interpretação e análise dos dados reais. Dentre essas ferramentas pode-se citar a simulação de processos (JOAQUIM, 2005).

Segundo Pegden (2005), a simulação é uma das ferramentas mais poderosas para a análise de processos. Pereira (2010) define simulação computacional como a representação de um sistema real por meio de um modelo de grande precisão no computador, que tem como vantagens a fácil visualização do sistema e a possibilidade de obter os resultados que a implementação de mudanças pode causar no processo produtivo, economizando recursos e tempo.

Dessa forma, este trabalho tem como finalidade estudar o processo produtivo de uma microempresa do setor metal mecânico por meio da simulação computacional, utilizando o *software* de simulação *FlexSim[®]*. Para isso, criou-se o mapeamento do processo produtivo de

um dos produtos mais vendidos pela microempresa X, que foi utilizado na modelagem do sistema no *software*. A seguir, identificaram-se os processos produtivos críticos e, com base neles, diferentes cenários foram criados a fim de buscar soluções para os problemas da empresa em relação a seus gargalos.

Este trabalho apresenta a seguir os tópicos de Contextualização, que contém uma revisão teórica e a caracterização da empresa; os Resultados e Discussões, que apresentam as informações sobre o processo produtivo, os resultados obtidos e suas análises; e as Considerações Finais, que concluem o estudo realizado.

2. Contextualização

2.1. Revisão Teórica

Com o advento da Revolução Industrial, as indústrias vivenciaram transformações relacionadas principalmente no que diz respeito às segmentações dos processos produtivos e de responsabilidades, o que aumentou significativamente a complexidade de operações das mesmas. Embora sejam inúmeros os pontos positivos que essa evolução proporcionou, a crescente segmentação das atividades tornou mais difícil a alocação dos recursos necessários para o desenvolvimento produtivo. Dessa forma, a pesquisa operacional desempenha um importante papel, pois proporciona métodos e ferramentas que promovem uma melhor análise e ajuste da situação real (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Assim, os atores Silva *et. al* (1998) retratam que o uso da pesquisa operacional está ligado a tomadas de decisões, que por uma descrição do sistema e o auxílio de um modelo construído com base na sua experimentação é possível descobrir a melhor maneira de se operar um sistema.

Devido à natureza matemática dos problemas de pesquisa operacional, a tendência é achar que sempre se deve analisar determinado problema matematicamente. A modelagem matemática é um dos principais componentes da pesquisa operacional, porém abordagens mais simples devem ser exploradas primeiramente, como é o caso da observação real do problema. Por meio da análise do “bom senso” é possível atingir soluções viáveis e condizentes, uma vez que o elemento humano, invariavelmente, afeta a maioria das decisões. (TAHA, 2008).

Segundo o autor Taha (2008) a simulação é o segundo melhor procedimento de análise do sistema real – em primeiro lugar está a observação real do sistema – pois, a simulação

permite uma imitação computadorizada do comportamento aleatório de um sistema com o intuito de estimar o uso de recursos e medidas de desempenho.

Basicamente, a simulação vê uma situação operacional como uma fila de espera em uma instalação de serviço. Acompanhando passo a passo os movimentos de clientes na instalação, podem-se coletar dados estatísticos pertinentes (por exemplo, tempo de espera em fila e comprimento da fila) (TAHA, 2008).

Segundo Pereira (2000), a simulação originou da necessidade em se estabelecer relações de causa e efeito entre os problemas existentes e um tipo usado de simulação trata-se da simulação de Monte Carlo. Essa última propõe simular uma situação real por meio de um modelo matemático baseado em probabilidades, com o objetivo de reduzir os riscos de ações que são influenciadas por dúvidas e incertezas.

De acordo com Taha (2008), a simulação atualmente utiliza a base fomentada na teoria de filas de Monte Carlo, entretanto a preocupação é o estudo do comportamento dos sistemas reais como uma função de tempo. Assim, divide a simulação em dois tipos de modelos: os modelos contínuos, representando sistemas cujo “comportamento muda continuamente ao longo do tempo”, e os modelos discretos, que “tratam primordialmente do estudo de filas de espera, com o objetivo de determinar medidas como o tempo médio de espera”, a mudança só acontece quando um cliente entra ou sai de uma fila em pontos discretos do tempo.

A escolha do *software FlexSim*[®] (desenvolvido pela *FlexSim Software Products Inc.*) usado para a simulação deste trabalho foi fundamentada pela característica do mesmo, pois, trata-se de um *software* de simulação de produção de eventos discretos, que permite modelar, analisar, visualizar e otimizar qualquer processo industrial (FLEXSIM, 2014).

Os objetos do *FlexSim*[®] são definidos e programados em quatro classes: a classe de recursos fixos, que compreendem os principais objetos da simulação, determinando o fluxo do modelo de simulação (chegada, filas, processadores, meios de transportes, saída), a classe de executor de tarefas, que essencialmente atribuem tarefas a outros objetos, como é o caso dos operadores e transportadores, a classe nó, que são objetos usados para projetar a rota de trabalho e a classe de objeto visual, representando os objetos usados para exibir e recolher as mensagens de entrada e saída, como os diagramas e textos (FLEXSIM, 2014).

2.2. Caracterização da Empresa

A empresa em questão é considerada uma microempresa de acordo com a classificação do SEBRAE (2013), possuindo 15 colaboradores em seu corpo institucional,

situada na região maringaense, na cidade de Marialva no Paraná. Está inserida no setor metal mecânico, com a fabricação de equipamentos de sistema de aquecimento solar: coletores solares e reservatórios térmicos.

A microempresa não possui portfólio dos produtos bem definido, entretanto eles compõem famílias de produtos, com duas famílias de coletores solares, e 16 famílias de reservatórios térmicos. Cada família de coletor solar é composta por oito tipos, que se diferem apenas nas dimensões (largura e comprimento) e na orientação (vertical ou horizontal). A Figura 1 ilustra alguns exemplos de coletores solares. Já no caso dos reservatórios térmicos, cada família é composta por dois reservatórios, diferindo na pressão de trabalho empregada, podendo ser alta ou baixa pressão, e a diferença entre cada família é oriunda da diferença de volumes dos reservatórios, que variam de 100 até 6000 litros. A Figura 2 mostra um tipo de reservatório.

Figura 1 - Coletor Solar



Fonte: Microempresa X (2014).

Figura 2 - Reservatório Térmico



Fonte: Microempresa X (2014).

A microempresa estudada não possui nenhum sistema automatizado de produção, assim, todas as etapas produtivas são realizadas manualmente pelos colaboradores. Existem

dois carros chefes na microempresa, o coletor solar com dimensão de 1,50 m de altura por 1,00 m de largura, e o reservatório térmico com capacidade para 400 litros.

Em relação às principais matérias-primas utilizadas nos dois processos produtivos têm-se tubos de cobre (de duas dimensões, 3/8” e 22 mm), chapa de aço inoxidável, chapa de galvalume, perfis de alumínio, lãs de vidro, vidro, isopor, resistência e termostato. Além disso, é de conhecimento que os processos que gastam maiores quantidades de recursos são a soldagem e montagem.

Neste artigo, foi considerada apenas a área produtiva referente ao coletor solar, ou seja, processos, matérias prima e operadores diretamente relacionados a este produto.

A Figura 3 mostra a sequência de operações do processo produtivo, por meio de modelagem de processos, em linguagem BPMN, confeccionado no *software* livre BizAgi Modeler® (2014), disponível em www.bizagi.com.

O processo tem início com o recebimento, conferência e armazenamento das seguintes matérias primas: lã de vidro, vidro, chapa de alumínio, tubo de cobre 3/8”, tubo de cobre 22 mm, e perfis de alumínio, e depois cada uma delas segue uma sequência de operações diferente.

A lã de vidro é recebida pela empresa em formato cilíndrico (rolos de 20 m). Para o processo de corte, o rolo é aberto em mesa apropriada e cortado em partes menores de 1 m cada uma. O vidro chega do fornecedor em tamanhos pré-determinados, e então, não necessita de nenhum processo adicional.

As chapas de alumínio são recebidas em formato laminar, com dimensão 2,00 x 1,00 m, passam pelo processo de corte em guilhotina e são armazenadas em tamanho 1,50 x 1,00 m, ou seja, cada chapa recebida torna-se uma unidade utilizada, e a parte retirada da chapa torna-se retalho. Após corte e armazenamento, as chapas tomam destinos diferentes, parte das chapas segue para o processo de frisamento, e a outra parte será utilizada apenas no processo de montagem final.

Os tubos 3/8” e 22 mm chegam em tubos de seis metros de comprimento, e após o corte no processo de Policorte 1, tornam-se tubos menores de 1,2 m e 1,0 m, isto é, são cortados em cinco e seis partes, respectivamente. Depois, passam pelo processo de Policorte 2 que retira as rebarbas formadas nas extremidades dos tubos pelo Policorte 1, prevenindo acidentes de trabalho ou de consumidores ao manusear o produto. Nesta fase, o tubo 3/8” está

pronto para ser utilizado na montagem de serpentinas, enquanto o tubo 22 mm segue para um processo adicional de furação, em furadeira de bancada, e é armazenado.

Os perfis de alumínio são barras com formato em “u”, se vistas frontalmente, e medem seis metros de comprimento. Durante o processo de corte, no Policorte 1, as barras são convertidas para o tamanho de 1,2 m, ou seja, cada barra é cortada em cinco pedaços menores, são armazenadas e estão prontas para montagem do produto final.

Preparadas, transformadas e armazenadas todas as matérias primas que entram na empresa, inicia-se os processos de montagem das subpartes do produto final. Esta fase do processo tem início com a montagem da serpentina, em que nove tubos 3/8” já preparados são inseridos, manualmente, em uma chapa frisada, em mesa específica, dando origem ao subproduto denominado “serpentina” que são armazenadas próximas à área de soldagem.

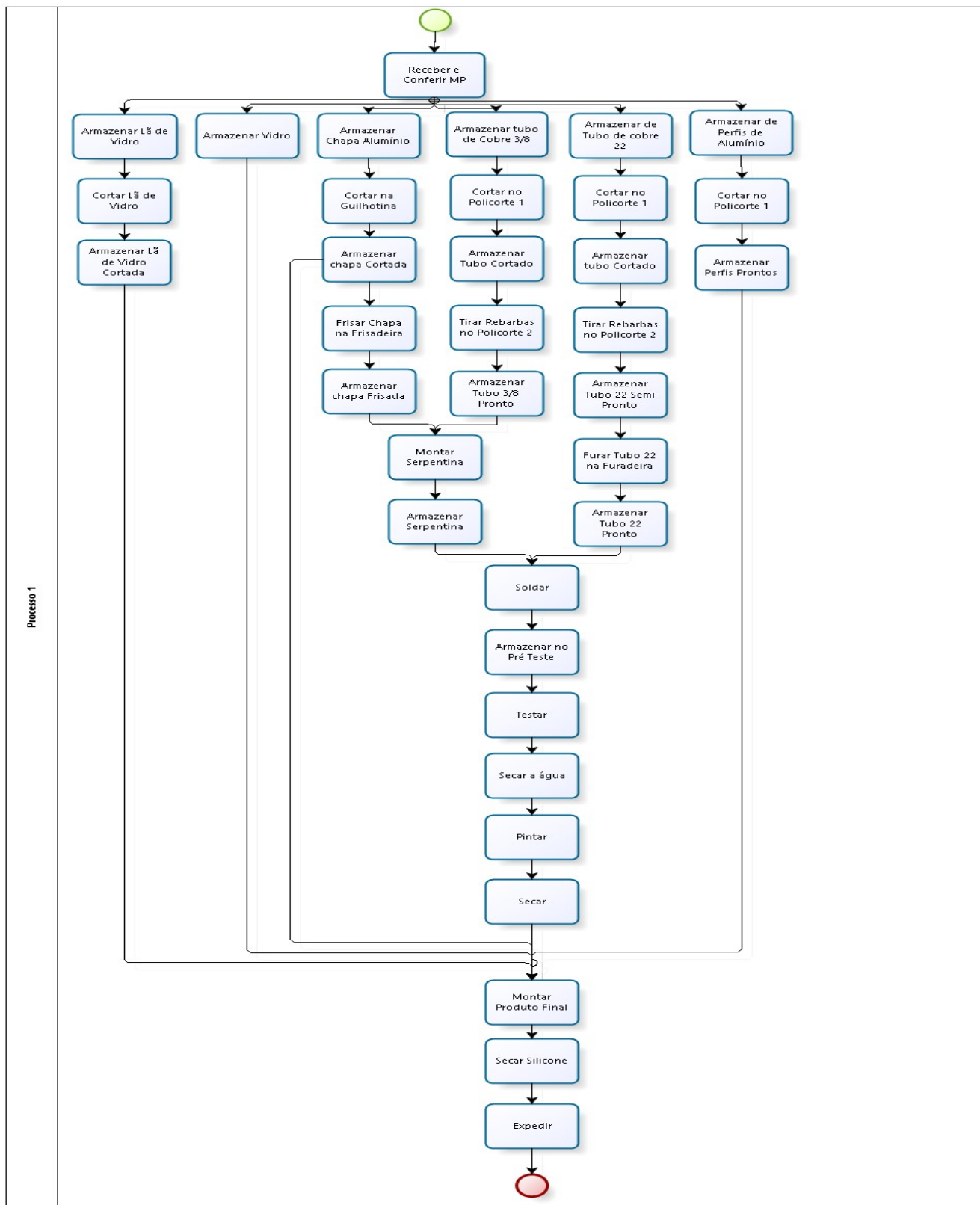
No processo de solda, as duas extremidades dos nove tubos das serpentinas são encaixadas e soldadas nos furos dos tubos de cobre de 22 mm, dando origem ao subproduto 2 “serpentina semi-pronta”. Este subproduto passa pelo teste hidrostático, em que três extremidades da serpentina semi pronta (do tubo 22 mm) são vedadas, e na quarta extremidade insere-se ar comprimido; este conjunto todo é mergulhado em uma banheira de água. Por meio deste teste é possível observar se há vazamentos na serpentina semi pronta, principalmente nas partes soldadas. Com o fim do teste, as vedações e o ar comprimido são retirados e a serpentina permanece em local adequado para secagem. Quando estiverem secas, são encaminhadas para o processo de pintura, em que é transferida cor preta fosca às serpentinas semi prontas, por motivos estéticos e para auxiliar na absorção de energia solar, e depois de secas, as “serpentinas prontas” estão finalizadas para os processos de montagens finais.

Para o processo de montagem final, são unidos dois vidros, uma lâ de vidro cortada, uma chapa de alumínio cortada, uma serpentina pronta e cinco perfis de alumínio. A forma como a montagem final é conduzida é a seguinte: dois perfis são encaixados nas extremidades dos tubos 22 mm da serpentina pronta, formando a lateral do produto acabado; um terceiro perfil é parafusado nas extremidades dos perfis já utilizados, fechando uma das frentes do produto final; sobre a serpentina é colocada a lâ de vidro e a chapa de alumínio, que é encaixada nas laterais dos perfis que formam a lateral do produto acabado, fechando, assim, o fundo do coletor solar, que também é a parte que ficará em contato com o telhado das construções onde será instalado. Esta parte do coletor montada é rotacionada lateralmente 180° para que a parte superior (aparente) seja montada. Um dos vidros é inserido nas laterais

dos perfis laterais; encaixa-se o quarto perfil no vidro, evidenciando o centro do coletor; o segundo vidro é encaixado no perfil central; e por fim, o quinto e último perfil é inserido na extremidade do último vidro, e parafusado nos perfis laterais, fechando a única extremidade ainda aberta do produto.

Silicone líquido é utilizado entre o vidro e os perfis, para vedação, e após secagem, está pronto para ser expedido.

Figura 3: Modelagem do Processo de Produção do Coletor Solar



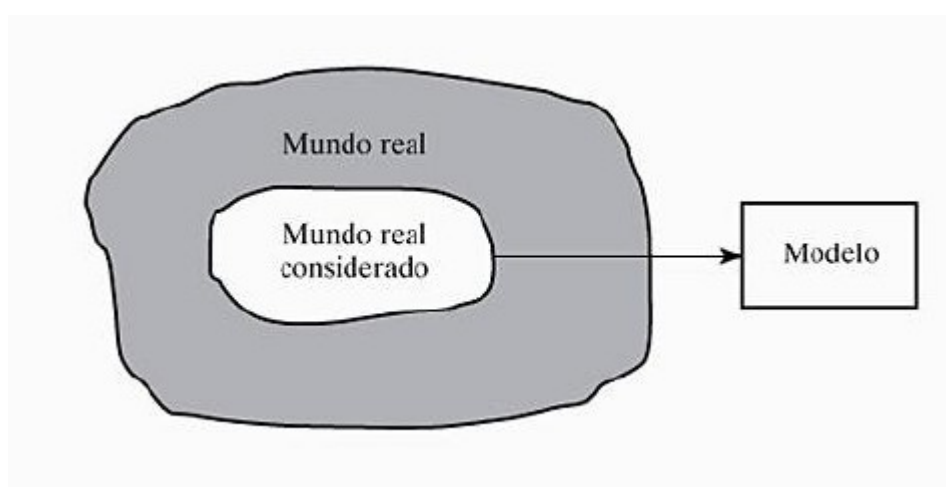
Fonte: Autoria Própria, 2014.

3. Resultados e Discussão

3.1. O Modelo

Para Taha (2008) existem diferentes níveis de abstração que caracterizam um modelo de pesquisa operacional, que ao retirar o mundo real considerado da situação real, os esforços são concentrados nas variáveis que imprimem um impacto maior sobre o sistema, controlando-o. A Figura 4 demonstra a origem do modelo.

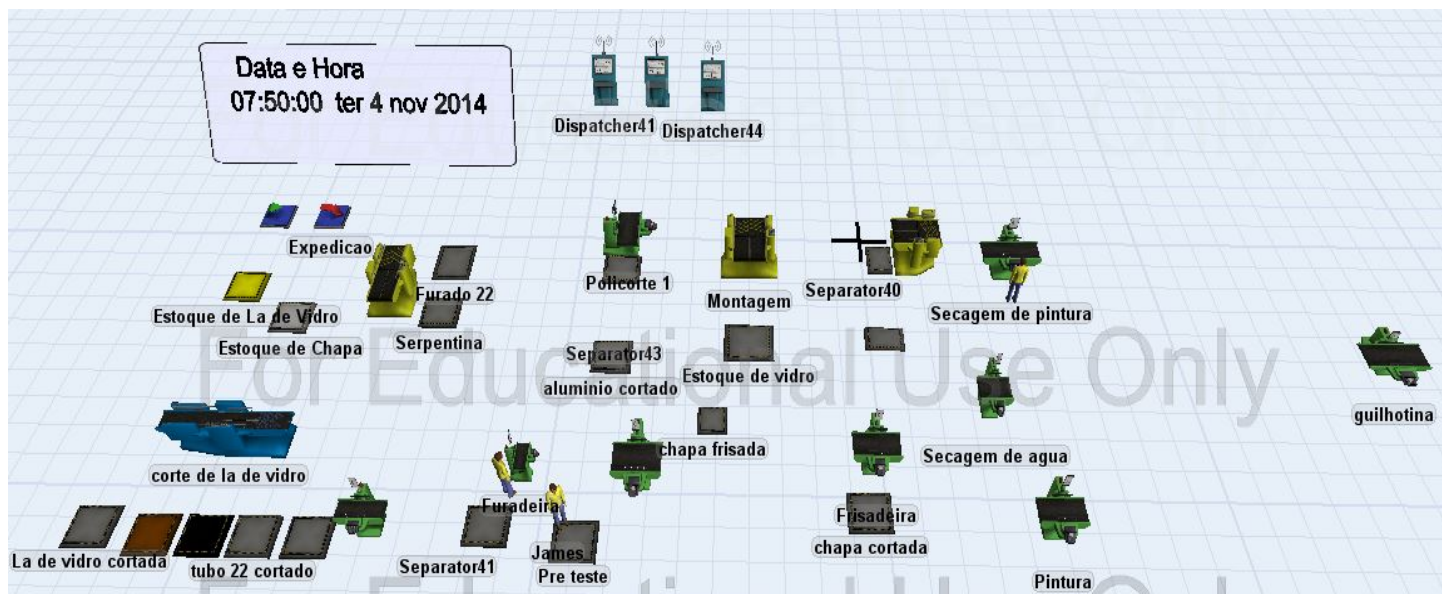
Figura 4: Níveis de abstração no desenvolvimento do modelo



Fonte - Taha (2008)

Assim, o modelo desenvolvido com o *software FlexSim*[®] para a microempresa analisada é basicamente um sistema de fluxo de entidades (*flowitems*), representando as matérias primas, os produtos em processos e os produtos finais, as filas (*queue*), as quais representam os estoques tanto iniciais quanto os intermediários, processos (*processador, combiners e separators*), que representam as atividades desenvolvidas na microempresa e sistemas de transporte (*TaskExecutors*), compostos pelos colaboradores. Ajustes foram necessários, uma vez que existem variáveis que fogem à regra, não sendo possíveis suas simulações. A Figura 5 mostra o modelo estruturado da microempresa analisada.

Figura 5: O modelo estudado



Fonte - Autoria própria, 2014.

Além das configurações de chegada de matéria prima, capacidades de processamento, armazenamento, e *layout* produtivo, foram analisados os tempos de *setup* e produção de cada equipamento. Para tanto, foi realizada a cronometragem dos processos reais na microempresa e os tempos coletados podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Tempos de *Setup* e de Processamento

Processo	Equipamento utilizado na modelagem	Tempo de <i>setup</i>	Tempo de processamento	Tempo total
Corte de tubos	<i>Processor</i> “Policorte 1”	1 min e 40s	1min e 30s	3min e 10s
Corte de lâ de vidro	<i>Separator</i> “Corte de lâ de vidro”	3min	3min	6min
Corte de chapa	<i>Processor</i> “Guilhotina”	4 min	2 min e 30s	6 min e 30s
Corte de alumínio	<i>Processor</i> “Policorte 1”	1min e 40s	1min e 30s	3min e 10s
Soldagem	<i>Combiner</i> “Solda”	0	10min	10min
Teste Hidrostático	<i>Processor</i> “Teste de água”	0	3min	3min
Secagem após teste	<i>Processor</i> “Secagem de água”	0	15min	15min
Pintura	<i>Processor</i> “Pintura”	1min	2min	3min
Secagem após pintura	<i>Processor</i> “Secagem de pintura”	0	1 hora	1 hora
Furação dos tubos	<i>Processor</i> “Furadeira”	1min	1min e 30s	2min e 30s

Fonte: Autoria própria, 2014.

Quadro 2 - Tempos de *Setup* e de Processamento - continuação

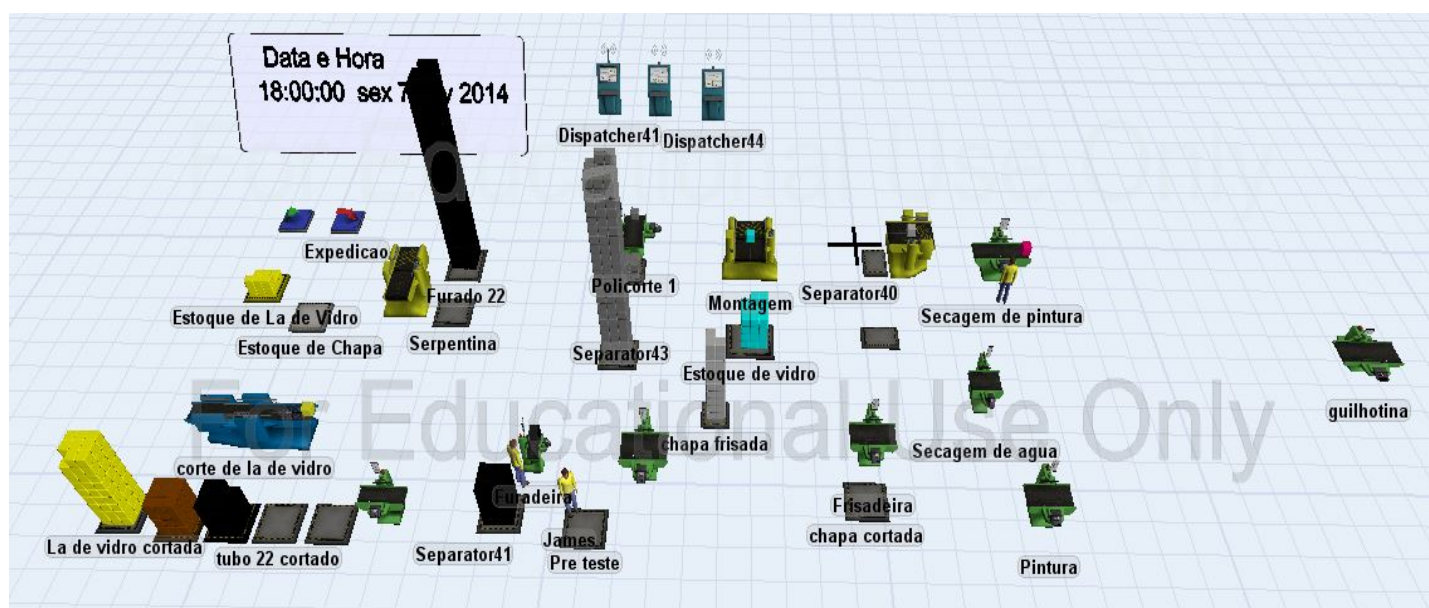
Processo	Equipamento utilizado na modelagem	Tempo de <i>setup</i>	Tempo de processamento	Tempo total
Retirada de rebarbas	<i>Processor</i> “Policorte 2”	0	10s	10s
Frisagem	<i>Processor</i> “Frisadeira”	0	4 min	4 min
Montagem da serpentina	<i>Combiner</i> “Montagem de serpentina”	0	5min	5min
Montagem final	<i>Combiner</i> “Montagem”	15min	15min	30min

Fonte: Autoria própria, 2014.

A simulação do modelo inicia-se no dia 04 de novembro de 2014 e tem a duração de quatro dias, finalizando, então, no dia 07 de novembro de 2014. As configurações ajustadas foram feitas para um dia de trabalho, com jornada de trabalho de nove horas realizada em apenas um turno, com início às oito horas da manhã e término às dezoito horas, com uma hora de almoço (das doze horas até às treze horas). Os ajustes dos processos e as demais configurações foram adaptados para realizar repetições a cada novo dia de trabalho. Além disso, o trabalho na empresa é realizado de segunda à sexta-feira.

Após a simulação dos quatro dias, dados referentes ao processo produtivo puderam ser coletados, fomentando as bases para as análises e justificativas dos possíveis cenários criados. A Figura 6 mostra o modelo após a simulação.

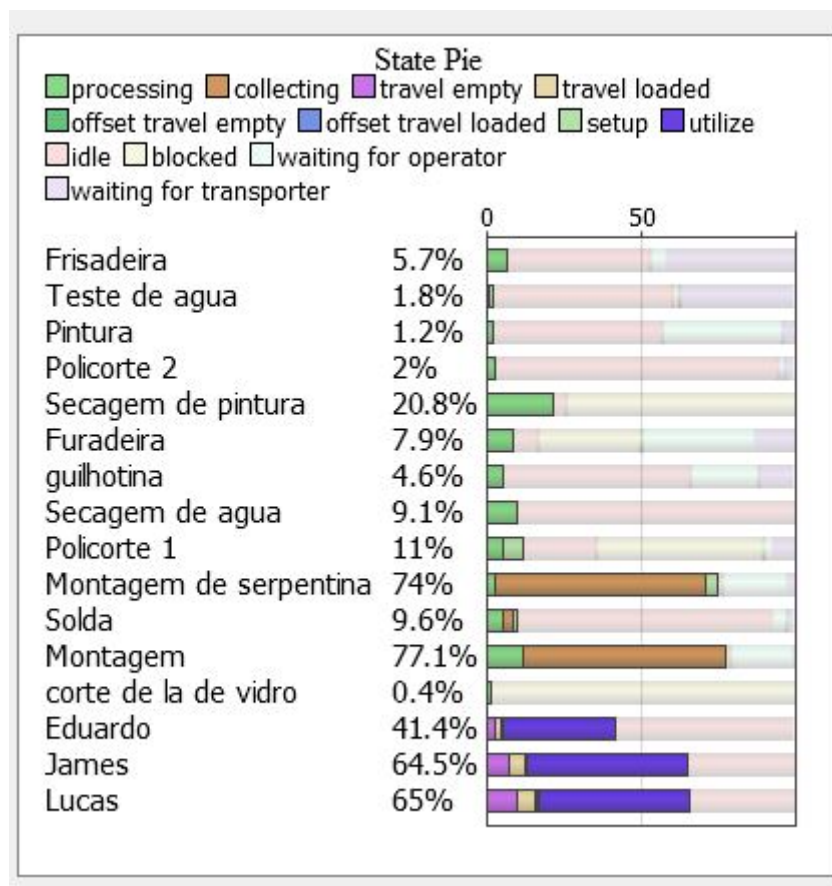
Figura 6: Modelo após a simulação.



Fonte - Autoria própria, 2014.

O cenário atual (Figura 6) resultou em uma expedição de vinte produtos acabados, durante o tempo determinado na simulação, e ao analisar este cenário é possível predizer alguns problemas somente por meio da observação direta, entretanto, para tornar as decisões mais consistentes foi utilizada uma ferramenta do próprio *software* que permite a criação de gráfico de análises, o qual pode ser observado na Figura 7.

Figura 7: Gráfico de ocupação dos elementos simulados.



Fonte - Autoria própria, 2014.

A partir da análise do gráfico de ocupação dos elementos simulados (Figura 7), realizou-se um levantamento dos pontos cruciais que impactam diretamente no desenvolvimento da simulação.

O primeiro ponto analisado foi a ocupação dos colaboradores. Assim, pode-se dizer que os mesmos destinam parte de suas horas de trabalho para realizar tarefas que não agregam valor, principalmente atividades de transporte e movimentação, tanto ao realizar o transporte de produtos em processos, como somente em movimentações pela empresa.

Além disso, as taxas de ociosidades são elevadas; o colaborador “Eduardo” possui a maior, ficando ocioso 58,6% do tempo total, seguido pelo colaborador “James”, com 35,5%

de ociosidade, e por fim, o colaborador “Lucas” com 35% ociosidade. A ociosidade dos operadores pode ser oriunda de vários fatores, como por exemplo, a falta de matéria prima para ser processada ou o processamento total dos produtos intermediários, os quais impedem o desenvolvimento das etapas anteriores.

Outro ponto a ser considerado como fator propulsor de ociosidade reside na má distribuição das tarefas, pois os colaboradores da microempresa detêm o conhecimento para o desenvolvimento de todas as atividades simuladas, porém foram estabelecidas ligações em atividades específicas, e após o término destas atividades, não assumem outro papel na simulação. Este fato se deu pela não utilização de um único *Dispatcher* (gerenciador) para coordenar as atividades dos colaboradores, já que um erro no *software* impossibilitou tal adoção.

Ao analisar os processos, constatou-se que eles estão em geral ociosos ou bloqueados. O Quadro 2 mostra os valores obtidos para cada equipamento simulado. Uma justificativa plausível para este bloqueio está na capacidade de armazenamento dos estoques intermediários, que ao atingirem suas capacidades de estocagem máximas, novas matérias primas e produtos intermediários não são processados, impedindo assim o fluxo de materiais.

Quadro 2 – Análise dos equipamentos

Equipamento utilizado na modelagem	Status final da simulação
<i>Processor</i> “Policorte 1”	54,4% bloqueado e 24,1% ocioso
<i>Separator</i> “Corte de lã de vidro”	98,9% bloqueada
<i>Processor</i> “Guilhotina”	61,3% ociosa e 22,2% esperando por operador
<i>Combiner</i> “Solda”	83,4% ociosa
<i>Processor</i> “Teste de água”	58,4% ocioso e 37,7% esperando transporte
<i>Processor</i> “Secagem de água”	90,9% ociosa
<i>Processor</i> “Pintura”	55,7% ociosa e 38,7% esperando o operador
<i>Processor</i> “Secagem de pintura”	74,6% bloqueada
<i>Processor</i> “Furadeira”	33,6% bloqueada e 36,7% esperando por operador
<i>Processor</i> “Policorte 2”	92,4% ocioso
<i>Processor</i> “Frisadeira”	47,6% ociosa e 42,0% esperando transporte
<i>Combiner</i> “Montagem de serpentina”	67,9% coletando e 20,4% esperando por operador
<i>Combiner</i> “Montagem”	64,9% coletando

Fonte: A autoria própria, 2014.

Como fator de contribuição para ociosidade dos equipamentos está o estabelecimento de prioridades. Os processos foram ajustados para possuírem prioridades de execução mais altas do que as atividades secundárias (como o preenchimento de estoques), porém, notou-se que nem sempre essas prioridades foram respeitadas. Além disso, outro ponto impactante está no transporte realizado pelos colaboradores, pois os mesmos não transportam mais de uma unidade por vez, devido às limitações da simulação.

Dentre todos os processos simulados, três ganham destaques por possuírem *status* e condições de trabalho diferentes, que são os *combiners* “Solda”, “Montagem de serpentina” e “Montagem”. Esses processos, por possuírem a função de junção de materiais, transformando diferentes entradas em um único produto, estão sujeitas ao processamento das matérias primas distintas em etapas anteriores, o que proporciona tempos de esperas considerados elevados, e assim, ganham o *status* de “coletando”. Esse *status* indica que uma ou mais matérias primas estão faltando para compor o produto final daquele equipamento. Neste caso específico, o *combiner* “Solda” não apresentou índices elevados de “coletando”, já que não possui dependência de muitos outros processos, porém os *combiners* “Montagem de serpentina” e “Montagem” apresentaram altos índices (ver Quadro 2), uma vez que dependem de muitos outros processos, o que leva a esperas demasiadamente longas.

Tendo em vista todos os problemas apresentados, foram criados três perspectivas de simulação, cada uma contendo cinco, cinco e um cenário respectivamente, abordando soluções plausíveis e que serão descritos nas seções seguintes. Nessa simulação, cada cenário de cada perspectiva foi efetuado cinco vezes, gerando uma análise estatística dos dados pelo *software*.

3.2. Perspectiva 01

A primeira perspectiva de simulação criada analisou a influência de mão de obra no desenvolvimento dos processos produtivos. Apesar de mostrar índices elevados de ociosidade, a mesma é causada pela sobrecarga de distribuição de atividades. Desta forma, foram criados cinco cenários, alterando a quantidade de mão de obra disponível em cada um, em que o *Scenario 1*, corresponde ao cenário atual, sem nenhuma modificação. A Figura 8 mostra as quantidades das variáveis dos cinco cenários criados.

Figura 8 - Cenários de operadores

Variable	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Lucas Nr TEs in Team /Dispatcher41	1	2	1	1	2
James Nr TEs in Team /Dispatcher43	1	1	2	1	2
Eduardo Nr TEs in Team /Dispatcher44	1	1	1	2	2

Fonte: Autoria própria (2014)

Com base nos números de colaboradores efetivos, foram analisadas as saídas dos processos “Furadeira”, “Guilhotina”, “Montagem de serpentina”, “Montagem”, e “Secagem de silicone” que apresentaram elevadas taxas de ociosidade, de esperas, de bloqueios e que poderiam ser influenciados pela mão de obra existente, e foram considerados processos críticos. As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 apresentam as respostas referentes às interferências das quantidades de colaboradores nos processos analisados.

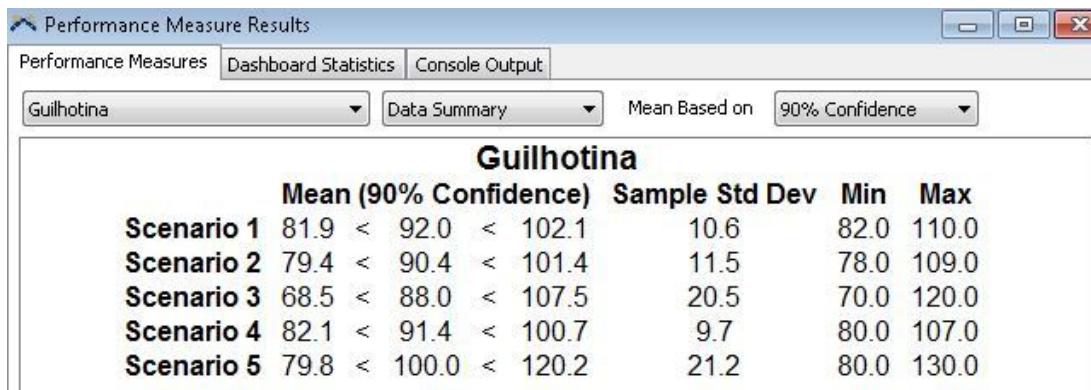
Os dados mostrados são referentes às análises estatísticas dos cenários estudados, assim, apresentam os valores médios de produção em cada cenário e em cada processo proposto, além de apontarem os desvios padrões e os valores máximos e mínimos obtidos em cada execução.

Figura 9 – Respostas do processo “Furadeira”

Furadeira							
	Mean (90% Confidence)			Sample	Std Dev	Min	Max
Scenario 1	115	<	134	<	154	21	105 158
Scenario 2	116	<	139	<	162	24	109 172
Scenario 3	68	<	100	<	133	34	63 154
Scenario 4	123	<	140	<	157	18	111 158
Scenario 5	88	<	124	<	160	38	79 174

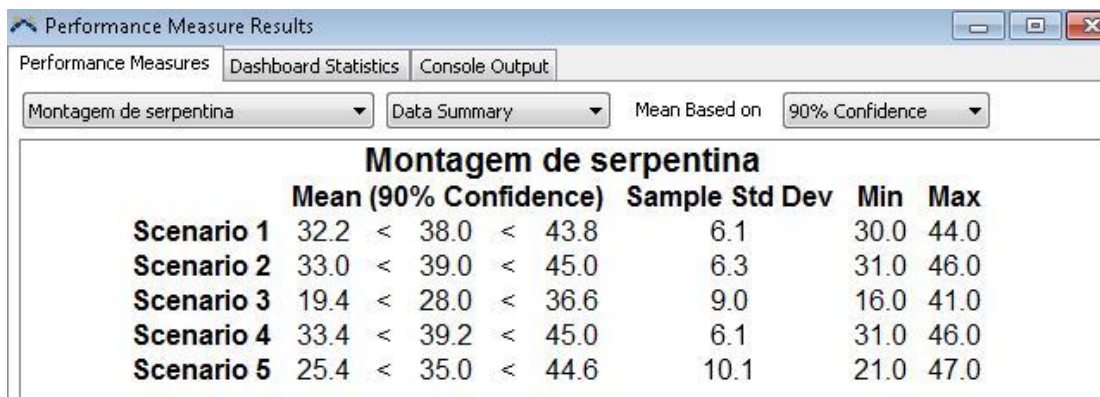
Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 10 - Respostas do processo “Guilhotina”



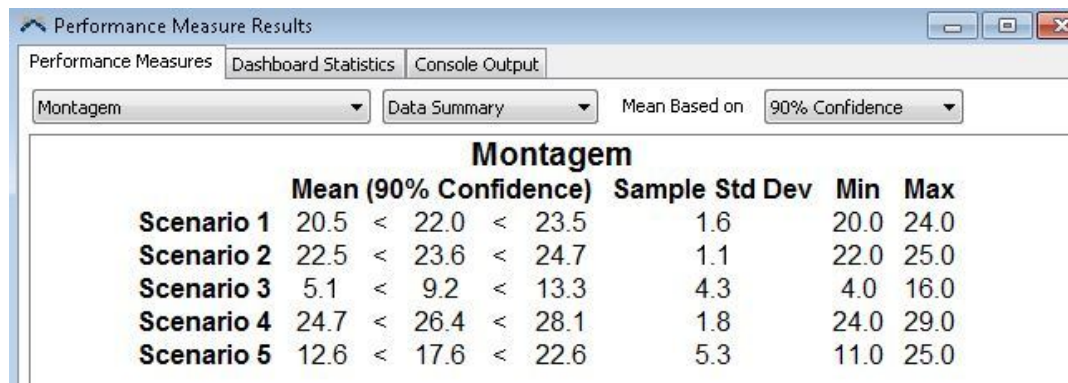
Fonte: Aatoria própria (2014)

Figura 11 - Respostas do processo “Montagem de serpentina”



Fonte: Aatoria própria (2014)

Figura 12 - Respostas do processo “Montagem”



Fonte: Aatoria própria (2014)

Figura 13 - Respostas do processo “Secagem de silicone”

Secagem de silicone						
	Mean (90% Confidence)	Sample	Std Dev	Min	Max	
Scenario 1	20.5 < 22.0 < 23.5		1.6	20.0	24.0	
Scenario 2	23.6 < 24.8 < 26.0		1.3	24.0	27.0	
Scenario 3	5.1 < 9.2 < 13.3		4.3	4.0	16.0	
Scenario 4	22.1 < 25.0 < 27.9		3.0	22.0	29.0	
Scenario 5	11.5 < 16.4 < 21.3		5.2	10.0	24.0	

Fonte: Autoria própria (2014)

Os cinco cenários desenvolvidos foram testados e apresentaram os seguintes valores de produtividade: 20, 27, 03, 28 e 10 unidades produzidas, respectivamente.

Ao analisar as informações obtidas, e por apresentar os menores valores de desvio padrão e as melhores médias em todos os itens analisados anteriormente, tem-se que o cenário (*Scenario*) 4 é o mais adequado para o desenvolvimento produtivo, ou seja, deve-se aumentar um colaborador que seja responsável pelas mesmas atividades (corte de lâ de vidro, teste de água, pintura e montagem, além dos estoques referentes a estes processos) de “Eduardo” no corpo da microempresa.

3.3. Perspectiva 02

A segunda perspectiva de simulação criada analisou a influência da quantidade de determinados processos que poderiam contribuir com o aumento da ociosidade nos processos anteriores e subsequentes, ou seja, gargalos da produção. Dessa forma, foram criados cinco cenários, alterando a quantidade dos processos “Montagem”, “Montagem de serpentina” e “Policorte 1”. Novamente o *Scenario* 1 corresponde ao cenário inicialmente modelado, sem nenhuma modificação. A Figura 14 mostra as quantidades das variáveis dos cinco cenários criados.

Figura 14 - Cenários de equipamentos

Variable	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	
Montagem	Nr Objects in Montagem	1	2	1	1	2
Montagem de serpentina	Nr Objects in Montagem_de_se	1	1	2	1	2
Policorte 1	Nr Objects in Policorte_1	1	1	1	2	2

Fonte: Autoria própria (2014)

Então, foram analisadas as saídas dos processos realizados por esses equipamentos e as Figuras 15, 16 e 17 apresentam as respostas referentes às interferências das quantidades dos equipamentos.

Figura 15 - Respostas do processo “Montagem de serpentina”

	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	25.5	< 34.8	< 44.1	9.8	21.0	46.0
Scenario 2	33.0	< 42.0	< 51.0	9.4	30.0	53.0
Scenario 3	24.4	< 33.0	< 41.6	9.0	21.0	46.0
Scenario 4	25.4	< 35.0	< 44.6	10.1	21.0	47.0
Scenario 5	36.0	< 44.8	< 53.6	9.3	31.0	53.0

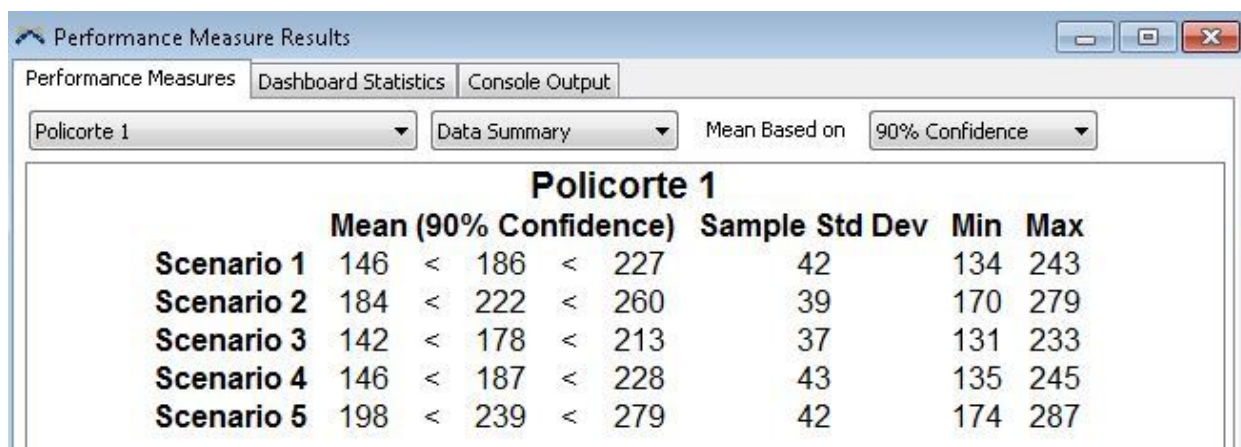
Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 16 - Respostas do processo “Montagem”

	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	12.7	< 17.2	< 21.7	4.8	11.0	24.0
Scenario 2	21.3	< 27.2	< 33.1	6.2	18.0	35.0
Scenario 3	11.6	< 15.0	< 18.4	3.6	10.0	20.0
Scenario 4	12.9	< 17.4	< 21.9	4.7	12.0	24.0
Scenario 5	23.7	< 31.0	< 38.3	7.7	19.0	40.0

Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 17 - Respostas do processo “Policorte 1”



Fonte: Autoria própria (2014)

Os cinco cenários desenvolvidos foram testados e apresentaram os seguintes valores de produtividade: 18, 18, 10, 12 e 20 unidades produzidas, respectivamente.

Ao analisar as informações obtidas, e por apresentar os menores valores de desvio padrão e as melhores médias em todos os itens analisados, tem-se que o cenário (*Scenario*) 5 é o mais adequado para o desenvolvimento produtivo, necessitando dobrar a quantidade de cada operação estudada.

3.4. Perspectiva 03

A terceira perspectiva de simulação criada uniu dois melhores cenários analisados anteriormente, cenário 4 da perspectiva 01, e cenário 5 da perspectiva 02. Diferentemente das outras perspectivas, nesta análise foi considerado apenas um cenário. A Figura 18 mostra as quantidades das variáveis do cenário criado.

Figura 18 – Cenário com os melhores resultados

Variable	Scenario 1
Montagem	Nr Objects in Montagem 2
Montagem de serpentina	Nr Objects in Montagem_de_serpentina 2
Policorte 1	Nr Objects in Policorte_1 2
Lucas	Nr TEs in Team /Dispatcher41 1
James	Nr TEs in Team /Dispatcher43 1
Eduardo	Nr TEs in Team /Dispatcher44 2

Fonte: Autoria própria (2014)

Foram inseridos, neste cenário o dobro de itens de “Montagem”, “Montagem de serpentina”, “Policorte 1” e “Eduardo”, mantendo constante a quantidade de operadores “Lucas” e “James” e os outros processo e capacidades de estoques.

O resultado mostra que esta perspectiva, no que diz respeito à produtividade, é o melhor resultado, com expedição de 30 produtos acabados (aumento de 50%), no tempo pré-determinado.

4. Conclusões

Por meio da modelagem do processo, dos tempos de processamento e da simulação pelo *software FlexSim®*, foram identificados e analisados os pontos críticos que representam os gargalos da microempresa, assim como o fluxo de materiais e pessoas para os processos. Ao encontrar os gargalos, considerados os maiores problemas da empresa, foi possível identificar alternativas para eliminá-los por meio da criação de cenários diferentes.

Os resultados da perspectiva 01, como vistos anteriormente, demonstram que o melhor cenário é o quarto, em que, a expedição aumentou para 28 unidades (acréscimo de 40%). Neste cenário, o colaborador “Eduardo” foi dobrado, e os outros mantidos constantes. Ele é o responsável pelas atividades de “corte de lâ de vidro”, “teste de água”, “pintura”, “montagem”, assim como os estoques referentes a essas atividades.

O melhor resultado da perspectiva 02 foi considerado o cenário 5, em que se manteve produção constante de vinte unidades, dobrando os processos de “Policorte 1”, “Montagem de serpentina” e “Montagem”, enquanto os outros cenários mostraram um decréscimo na produção. Isto revela que os processos, considerados críticos, não influenciam na excessiva ociosidade geral, na baixa expedição de produto acabado, e nos altos níveis de estoques intermediários.

Na perspectiva 03 foram cruzadas as melhores respostas das perspectivas 01 e 02, e foi analisado apenas o número de produtos expedidos, o resultado foi o melhor da rodada de simulação (30 produtos – aumento de 50%).

Outros aspectos, que fogem do escopo deste trabalho, podem ser considerados para trabalhos futuros, como a organização da empresa, distribuição de tarefas entre operadores, layout do processo produtivo, análises da qualidade das peças e do produto final (e não apenas produtividade), funcionalidade das máquinas e estudo de priorização de operações.

Referências

FLEXSIM. **Fórum**. Disponível em <<https://www.flexsim.com/pt/>>. Acesso em 23 de novembro de 2014.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**, 8ª Edição. São Paulo: McGraw Hill, 2006. 828p.

JOAQUIM, E. D. **Análise de um novo centro cirúrgico para o Hospital Universitário Cajuru**: estudo de caso baseado em simulação computacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

PEGDEN, C. D. **Future Directions in Simulation Modeling**. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, SCS.

PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2000.

SEBRAE. Taxas de Sobrevivência das Empresas no Brasil. **Sebrae**, Brasília, out. 2011. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Sobrevivencia_das_empresas_no_Brasil_2011.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2014.

SILVA, E. M. *et al.* **Pesquisa Operacional**, 3ª Edição. São Paulo: Atlas, 1998. 184p.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**, 8ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 346p.