

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**Ajuste do Sistema Kanban de um Produto em uma Empresa
Metal Mecânica por Simulação Computacional**

Noelle Rodrigues da Cruz

Maringá - Paraná
Brasil

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

Ajuste do Sistema *Kanban* de um Produto em uma Empresa
Metal Mecânica por Simulação Computacional

Noelle Rodrigues da Cruz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da
Universidade Estadual de Maringá.
Orientadora: Prof^a. M^a Fernanda Cavicchioli Zola

**Maringá - Paraná
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Elaine e Ronald, que nunca pouparam esforços para eu alcançar meus sonhos.

“Uma chave importante para o sucesso é a autoconfiança. Uma chave importante para a autoconfiança é a preparação” (Arthur Ashe)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades ofertadas. Aos meus pais, por todo incentivo e investimento nos meus estudos. Às minhas irmãs, Paola e Marcela, por sempre serem meu maior amparo. Aos professores que cruzaram meu caminho, influenciando direta ou indiretamente na construção desse trabalho e na minha formação. À professora Fernanda, por despertar meu interesse no assunto aqui abordado durante suas aulas e estar sempre disponível a me orientar, com paciência e dedicação. Às minhas amigas, Flávia e Giseli, por enfrentarem ao meu lado essa caminhada de cinco anos. À equipe Ziober, pelo aprendizado, apoio e amizade oferecidos.

RESUMO

Visando ao atendimento da filosofia *Just in Time*, cujas premissas incluem o fornecimento entre os processos de produtos certos, em sua quantidade e momento adequados à necessidade de produção, além da busca pela melhoria contínua e redução de custos de um processo produtivo, o *Kanban* surge como um método de controle da produção, que permite a diminuição sistemática dos estoques entre processos. Dependente da demanda e do *lead time* de produção, o sistema precisa que seu ajuste ocorra periodicamente, de modo a acompanhar as variações que esses fatores sofrem no decorrer do tempo. A partir da identificação de uma possível desatualização do dimensionamento do sistema *Kanban* em uma empresa do setor metal mecânico, situada na cidade de Maringá, iniciou-se a realização do estudo de caso aqui apresentado, o qual, caracterizado como uma pesquisa exploratória e pré-experimental, baseou-se em estudos bibliográficos e adaptações de uma metodologia de ajuste do sistema *Kanban* para a sua execução, através da simulação computacional no *software Flexsim*. O estudo abordou o sistema *Kanban* de um dos equipamentos produzidos pela empresa, objetivando, além de efetivar o seu reajuste, constatar a necessidade de realiza-lo regularmente e verificar a utilidade da simulação computacional como ferramenta de auxílio. Ao fim do trabalho, foi possível atingir quantidades de cartões *kanban* e tamanhos de lotes das peças, que compõem o equipamento em questão, capazes de refletir estoques reduzidos.

Palavras-chave: *Kanban*; estoque; ajuste; simulação computacional.

ABSTRACT

Aiming at meeting the Just in Time philosophy, which premises include the supply of right products between processes, in adequate amount and time to the need of production, in addition to the search for continuous improvement and reduction of costs of a productive process, Kanban arises as a method of production control, which allows the systematic reduction of inventories between processes. Dependent on demand and production lead time, the system needs adjustment to occur periodically in order to keep up with the variations these factors undergo over time. From the identification of a possible outdated scaling of the Kanban system in a metalworking company located in the city of Maringá, the case study presented here got started, which, characterized as an exploratory and pre-experimental search, was based on bibliographic studies and adaptations of a methodology of adjustment of the Kanban system for its execution, through the computational simulation in Flexsim software. The study addressed the Kanban system of one equipment produced by the company, aiming, in addition to effecting its readjustment, to verify the need to perform it regularly and to verify the usefulness of the computational simulation as an aid tool. At the end of the work, it was possible to achieve quantities of kanban cards and lot sizes of the pieces, which make up the equipment in question, capable of reflecting reduced inventories.

Keywords: Kanban; inventory; adjustment; computational simulation.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	ii
Lista de Quadros	iii
Lista de Gráficos	iv
Lista de Abreviaturas e Siglas	v
1 Introdução.....	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Definição e delimitação do problema	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo geral	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
2 Revisão da Bibliografia	5
2.1 Filosofia JIT.....	5
2.2 Produção Puxada.....	8
2.3 Balanceamento da Produção	9
2.4 Sistema <i>Kanban</i>	10
2.5 Modelagem	13
2.5.1 Fluxograma.....	14
2.5.2 Matriz SIPOC	16
2.6 Simulação Computacional	16
2.6.1 FlexSim®.....	19
3 Metodologia.....	22
4 desenvolvimento.....	26
4.1 Caracterização da empresa.....	26
4.2 Descrição do Processo Produtivo	27
4.3 Construção e Validação do Modelo Computacional	41
4.4 Ajuste do Sistema <i>Kanban</i>	55
4.5 Análise e Discussão dos Resultados	71
5 Conclusão	78
6 Referências	80

LISTA DE FIGURAS

- Figure 1:* Modelo do SIPOC **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 2:* Passos da metodologia de ajuste do sistema Kanban **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 3:* Processo produtivo geral..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 4:* Composição simulador de remo **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 5:* SIPOC base do remo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 6:* SIPOC tubo do remo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 7:* SIPOC banco do remo **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 8:* SIPOC braço do remo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 9:* Processo Produtivo Remo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 10:* Modelo Computacional **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 11:* Global Table Kanban Conformação **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 12:* Configuração do Estoque de MP **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 13:* Configuração da Chegada de Peças Conformadas no Estante Zero**Erro! Indicador não definido.**
- Figure 14:* Configuração do Almoxarifado Central **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 15:* Global Table Kanban Solda..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 16:* Configuração da Montagem dos *Kits* da Solda **Erro! Indicador não definido.**
- Figure 17:* Configuração da Chegada de Peças Soldadas no Estante Zero**Erro! Indicador não definido.**
- Figure 18:* Configuração do Estoque de Bases e Acessórios **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

<i>Table 1:</i> Dados do processo produtivo	39
<i>Table 2:</i> Capacidade produtiva e demanda.....	41
<i>Table 3:</i> <i>Lead time</i> da simulação de inicialização	55
<i>Table 4:</i> Estoque entre processos da simulação de inicialização.....	56
<i>Table 5:</i> Estimativa inicial da quantidade de <i>kanbans</i>	57
<i>Table 6:</i> Estimativa inicial do tamanho do lote	58
<i>Table 7:</i> <i>Lead time</i> da simulação inicial	59
<i>Table 8:</i> Cálculo inicial da quantidade de <i>kanbans</i>	60
<i>Table 9:</i> Cálculo inicial do tamanho do lote.....	61
<i>Table 10:</i> Estoque entre processos na simulação inicial.....	61
<i>Table 11:</i> <i>Lead time</i> da simulação secundária.....	62
<i>Table 12:</i> Cálculo secundário da quantidade de <i>kanbans</i>	63
<i>Table 13:</i> Cálculo secundário do tamanho do lote	63
<i>Table 14:</i> Estoque entre processos da simulação secundária	64
<i>Table 15:</i> Cálculo da quantidade de <i>kanbans</i> para verificação 1	65
<i>Table 16:</i> Cálculo do tamanho do lote para verificação 1	66
<i>Table 17:</i> Estoque entre processos da simulação de verificação 1	66
<i>Table 18:</i> Cálculo da quantidade de <i>kanbans</i> para verificação 2.....	67
<i>Table 19:</i> Estoque entre processos da simulação de verificação 2.....	68
<i>Table 20:</i> Evolução do dimensionamento <i>Kanban</i>	72

LISTA DE QUADROS

Picture 1: Tipos de desperdícios **Erro! Indicador não definido.**

Picture 2: Simbologia de fluxogramas utilizados para fluxos de processos**Erro! Indicador não definido.**

Picture 3: Descrição dos recursos fixos **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE GRÁFICOS

Chart 1: Produtividade da conformação na simulação de inicialização **Erro! Indicador não definido.**

Chart 2: Produtividade da solda na simulação de inicialização **Erro! Indicador não definido.**

Chart 3: Equipamentos produzidos por mês na simulação final **Erro! Indicador não definido.**

Chart 4: Equipamentos produzidos por mês na simulação de inicialização **Erro! Indicador não definido.**

Chart 5: Produtividade da solda na simulação final..... **Erro! Indicador não definido.**

Chart 6: Produtividade da conformação na simulação final **Erro! Indicador não definido.**

Chart 7: Evolução dos estoques intermediários médios..... **Erro! Indicador não definido.**

Chart 8: Evolução das quantidades máximas em estoque..... **Erro! Indicador não definido.**

Chart 9: Evolução do tempo máximo em estoque **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

JIT – *Just in Time*

MP – Matéria prima

1 INTRODUÇÃO

Segundo Shingo (1996), o que define o sistema *Just in Time* (JIT) é a eliminação dos estoques entre processos numa linha de produção, com o abastecimento destes por meio dos itens necessários, na quantidade necessária e no momento necessário. Observando o comportamento do mercado consumidor atual, é possível verificar essa mesma busca pelos produtos desejados, que devem chegar na quantidade requerida e, principalmente, no momento exigido, sendo que a conquista do mercado é de posse daquele que atende a essas exigências, uma vez que o consumidor não admite mercadorias erradas, em falta ou excesso, e muito menos em atraso, ficando a cargo da empresa os prejuízos consequentes.

Como medida preventiva a essas falhas e de auxílio na aplicação da filosofia JIT, utiliza-se o sistema *Kanban*, o qual, segundo Tubino e Lemos (1999), atua como uma ferramenta de gerenciamento de estoques de produtos em processo e controle da produção, puxando-a, visando assim o aumento da produtividade, através da redução de estoques e *lead time* de produção, o que possibilita maior agilidade em resposta às variações de demanda. De acordo com Danni e Tubino (1997), um dos objetivos do sistema JIT, que consiste em diminuir os estoques, pode ser alcançado com a redução do número de *kanbans*, removendo-os sistematicamente, o que torna o sistema produtivo não só mais ágil, mas também, em contrapartida, mais vulnerável a oscilações de demanda e problemas de carência de material.

Devido ao fato da maioria das empresas não atuar com demanda estável, em consequência da inconstância do mercado e aumento da concorrência, e apresentar *lead times* instáveis, pela falta de uniformidade do trabalho dos funcionários, torna-se necessário realizar o ajuste periódico de seu sistema *Kanban*. Além do mais, existe a constante busca pela minimização dos estoques, revelando mais uma considerável razão para esse reajuste.

No cálculo padrão do número de *kanbans*, utiliza-se como fonte de dados a demanda prevista e o *lead time* de processo estimado. No entanto, desconsidera-se que tal *lead time* depende do número de *kanbans* e do tamanho do lote, definido de acordo com o número de *setups* diários e o tamanho do contenedor; além de desconsiderar outros fatores, como a variabilidade dos tempos de processo, da demanda, tempos de *setup*, frequência de parada de máquina e problemas de qualidade com os produtos (TUBINO; LEMOS, 1999).

Pergher et al. (2014) observam a existência de uma lacuna nos cálculos tradicionais de medição do *Kanban*, os quais desconsideram a variabilidade para o seu dimensionamento. Para Antunes (1998 apud PERGHER et al.,2014), “quanto maior a variabilidade do processo maior será a necessidade da utilização de estoques”.

Nesse contexto, a simulação computacional vem surgindo como forma de incluir a variabilidade no dimensionamento do sistema *Kanban*, uma vez que sua aplicação possibilita o envolvimento das variações presentes nos processos produtivos, mas que não são contempladas nos cálculos padrões de quantidade e tamanho dos lotes *Kanban*, sendo que sua principal vantagem está no fato de permitir diferentes experimentações sem comprometer o processo.

Identificando tais variabilidades no processo produtivo de uma empresa do campo metal mecânico, situada na cidade de Maringá - Paraná, o presente trabalho pretende reajustar o sistema *Kanban* de um de seus principais produtos, utilizando a simulação computacional como ferramenta de auxílio para a apresentação de uma proposta de mudança do dimensionamento dos *kanbans* dos setores de conformação e solda.

1.1 Justificativa

A aplicação do sistema *Kanban* numa produção surge da necessidade em se reduzir custos com estoques e ao mesmo tempo garantir o suprimento de todos os estágios do processo produtivo com matérias primas e produtos em processamento. Entretanto, o fato de o sistema *Kanban* atender a uma demanda imediatista, seguindo os princípios da filosofia JIT, requer que o seu dimensionamento seja tão preciso em relação à quantidade, momento e local, quanto variável em relação à demanda. Verifica-se, portanto, quão imprescindível se faz o seu ajuste periódico e sua mensuração através de recursos que não comprometam o atendimento ao mercado consumidor. Assim sendo, a elaboração do presente trabalho evidencia sua valia na demonstração em caso real da necessidade do reajuste do sistema *Kanban*, e da utilidade da simulação computacional para a sua execução.

Nesse contexto, o aumento da concorrência no segmento metal mecânico enfrentado pela empresa aqui avaliada, juntamente com a mudança do mercado consumidor, tem alterado continuamente sua demanda, fazendo com que surjam indagações a respeito do atual

dimensionamento do seu sistema *Kanban*. Levando-se também em consideração o processo produtivo de diversificados itens, que exige constantes *setups*, influenciando diretamente o *lead time* de operação, obtém-se uma perceptível necessidade de reajuste do sistema *Kanban*.

Em vista disso, o presente trabalho surge como uma proposta de alcance do ponto ótimo de operação do sistema *Kanban*, através do emprego da simulação computacional e segundo os propósitos da filosofia *Just in Time* de minimização dos estoques intermediários.

1.2 Definição e delimitação do problema

A demanda mensal tem direta influência no número de cartões *Kanban* circulando no processo produtivo, uma vez que a necessidade de se produzir mais itens decorre da solicitação de novos pedidos, em se tratando de produção puxada. O tamanho do lote *Kanban*, por sua vez, depende da quantidade e duração de cada *setup* e do tamanho do contenedor. Arelado a ambas medições, está o *lead time* de produção. Tais mensurações indicam o estoque máximo de cada etapa da fabricação, sendo que as variações de demanda mensal, *setup* e *lead time* requerem que o sistema *Kanban* seja ajustado regularmente.

Esse ajuste a ser apresentado no presente trabalho pretende redimensionar o sistema *Kanban* do equipamento denominado simulador de remo dos setores de conformação e solda da empresa analisada, que não o realiza há mais de um ano. Há com isso a possibilidade de se intervir no nível de estoque de cada processo dos setores em questão, pelo aumento ou diminuição tanto da quantidade de *kanbans* quanto do tamanho de seus lotes, de acordo com a necessidade verificada.

1.3 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho encontram-se divididos em objetivo geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Reajustar o sistema *Kanban* do simulador de remo dos setores de conformação e solda, utilizando a simulação computacional, com o intuito de minimizar os estoques entre processos.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos compreendem:

- Modelar os setores de conformação e solda no *software* Flexsim, com a simulação do processo produtivo do simulador de remo;
- Apurar o número de *kanbans* e o tamanho dos lotes ideais para o processo produtivo em questão;
- Comprovar através da simulação computacional a necessidade da realização de ajustes periódicos do sistema *Kanban*;
- Verificar as vantagens da utilização da simulação computacional como ferramenta de auxílio no ajuste do sistema *Kanban*.

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Para o bom desenvolvimento do trabalho realizou-se um embasamento teórico abordando os temas: Filosofia JIT, Produção Puxada, Balanceamento da Produção, Sistema *Kanban*, Modelagem, Fluxograma, Matriz SIPOC, Simulação Computacional e *Flexsim*.

2.1 Filosofia JIT

Criado no Japão, na “Toyota Company”, por volta da década de 70, o conceito *Just in Time* (JIT) consiste na eliminação ordenada das perdas em todo o processo produtivo, tendo como premissas a melhoria contínua e a eliminação dos custos, com a máxima redução de atividades que não agregam valor ao produto ou serviço (TUBINO; LEMOS, 1999). Como princípio de melhoria contínua, Mota e Vital (2015) mencionam que a busca pela qualidade está em todas as fases da produção, uma vez que a extinção de falhas elimina, conseqüentemente, os custos que estas geram. Para Chiavenato (2004), o sistema JIT busca a redução dos custos e a melhoria do fluxo produtivo por meio do planejamento da chegada dos materiais no momento certo de seu uso nos postos de trabalho. Sendo assim, processos que trabalham com foco na qualidade da produção e do produto evitam perdas com retrabalho e desperdícios de material, mão de obra e tempo, assim como o atendimento adequado da chegada dos produtos no momento e local em que são requeridos.

Junior e Junior (2008) ressaltam que a redução dos custos pode ser obtida principalmente através da eliminação dos desperdícios com atividades que não agregam valor à produção, sendo, por meio do sistema JIT, incentivado o envolvimento humano, a agilidade para atender à demanda e a simplicidade dos processos produtivos. Em outras palavras, tendo como objetivo principal a geração de lucros, é através da minimização dos custos e pronto atendimento ao cliente que a filosofia *Just in Time* fundamenta-se (MOTA; VITAL, 2015).

Celani et al. (2015) apresentam esses desperdícios identificados na Toyota e que baseiam o modelo JIT, conforme o Quadro 1:

Quadro 1: Tipos de desperdícios

PRÁTICA	DESCRIÇÃO
Superprodução	Para a Toyota, produzir mais do que é necessário para o próximo processo é a maior fonte de desperdício.
Tempo de espera	Ocorre quando os recursos (máquinas/pessoas) são obrigados a esperar desnecessariamente em virtude de atrasos na chegada de materiais ou disponibilidade de outros recursos, incluindo informações.
Transporte	Movimentação de materiais dentro da fábrica, assim como a dupla ou tripla movimentação do estoque em processo, não agrega valor.
Processo	No próprio processo pode haver fontes de desperdícios. Algumas operações existem apenas em função de um mau projeto, seja de componentes ou de manutenção, podendo ser eliminadas.
Estoque	Dentro da filosofia JIT, todo estoque torna-se um alvo para eliminação.
Movimentação	Um operador pode parecer ocupado, mas algumas vezes nenhum valor está sendo agregado ao seu trabalho. A simplificação do trabalho é uma rica fonte de redução do desperdício de movimentação.
Produtos defeituosos	O desperdício de qualidade é bastante significativo nas empresas, mesmo que as medidas reais de qualidade sejam limitadas.

Fonte: Adaptado de Celani et al. (2015)

Através da análise do Quadro 1 é possível verificar que o conhecimento detalhado do processo produtivo permite a eliminação de atividades que não agregam valor ao produto, e pelo contrário, geram custos que poderiam, inclusive, constatar um saldo final negativo na receita da empresa. Além disso, segundo apontam Machado et al. (2015), os gastos provenientes do armazenamento de matéria prima e produto acabado não são apenas relativamente desnecessários, como também apresentam chances de não serem de fato utilizados, visto que a comercialização de itens em excedentes nos estoque pode nem mesmo chegar a ocorrer.

Segundo Tubino e Lemos (1999), a meta da filosofia JIT é a minimização dos estoques, sendo que o ideal é que se consiga manter somente uma unidade de peça por estoque entre processos e uma quantidade mínima de produtos em estoque final. Arbache et al. (2006), no entanto, defendem que não existe um nível certo de estoque, muito menos que o ideal seja o estoque

zero, como muitos orientam, mas sim que a diminuição sistemática dos níveis de estoque permite o atingimento do nível adequado para o abastecimento da cadeia de valor.

Deste modo, o controle e verificação das reais capacidades e necessidades da organização são imprescindíveis para a adequação do nível de estoque, uma vez que “a empresa pagará um preço por não ter aquele produto em estoque e outro por tê-lo em excesso” (CELANI et al., 2015). Infere-se, com isso, que o sucesso do negócio tem notável dependência da performance gerencial dos seus estoques, tendo em vista que a sua falta é tão passível de sequelas quanto o seu excesso.

Chiavenato (1991) define estoque como sendo a combinação de produtos em processamento, semiacabados e acabados, cabendo também a inclusão da matéria prima e materiais de montagem. Celani et al. (2015) ressaltam a importância da manutenção de estoques, mesmo que sem uso imediato e destinados a futuras necessidades, sendo fundamental para o devido funcionamento do sistema produtivo.

Para Trigueiro (apud CELANI et al., 2015), “quanto maior o nível de estoque, menor o dinheiro disponível para investimento em outras atividades e capital investido em elevados estoques é reconhecido como capital parado em armazém, ou seja, não gera rentabilidade”, uma vez que todo produto, quando fabricado, gera um custo para tal, assim como a sua manutenção em estoque também o gera. Sendo assim, esse produto apresenta um valor monetário que, com a sua estocagem por um período acima do necessário para a sua utilização, retém o retorno que esse investimento deveria proporcionar, além de apresentar aumento nos custos proporcional ao tempo em que está parado, mas desigual ao aumento do seu valor no mercado. Portanto, a manutenção de estoques desnecessários não somente gera custos, como também retém capital de giro, tornado indisponíveis recursos que poderiam ser designados a investimentos de maior retorno.

Tubino e Lemos (1999) ainda destacam como principais ferramentas para o atingimento das metas do JIT a organização da área de trabalho, redução dos tempos de *setup*, manufatura celular, produção puxada e balanceamento da produção. Para isso, todos os estágios do processo produtivo devem, além de ser controlados e planejados, ser sincronizados com os diversos setores da empresa (MOURA et al., 2013).

As vantagens da aplicação do sistema JIT de produção surgem na forma de custos reduzidos, processo produtivo simplificado, flexibilidade no atendimento a variados clientes, velocidade

e qualidade, sendo que suas características consistem na programação nivelada, colaboradores flexíveis, manutenção preventiva, confiabilidade interna, organização efetiva do *layout* e melhoria contínua (MOTA; VITAL, 2015).

Profeta (apud FACÓ et al., 2014) aponta como principais características da filosofia JIT, além das já citadas previamente, como redução de estoques, *setup* e lotes de fabricação, um maior envolvimento dos trabalhadores, os quais passam a assumir mais responsabilidade, trabalho em equipe e planejamento da produção através do uso dos cartões *Kanban*, por exemplo.

A redução dos estoques, no entanto, torna o sistema produtivo muito suscetível às variações da demanda do cliente ou mudanças do mercado, o que justifica o trabalho de Facó et al. (2014), o qual alega que os atrasos no sistema JIT de empresas do setor metalúrgico ocorrem devido à falta de assistência ao sistema por parte do fornecedor. É possível verificar, portanto, a importância e necessidade da manutenção de estoques, tanto entre processos, como de matérias primas e produtos acabado, sendo preciso o estudo de cada processo para a definição das quantidades apropriadas para cada um.

2.2 Produção Puxada

A produção puxada teve sua aplicação estimulada quando da dissipação do sistema de produção Toyota, dado que o seu emprego possibilita a prevenção de ao menos dois dos sete desperdícios identificados pela filosofia *Just in Time*, os quais foram apresentados no Quadro 1, sendo eles as perdas por estoques e superprodução (SILVA; SANTOS, 2014). Para tanto, a produção puxada, como o próprio nome sugere, é ordenada de acordo com a necessidade, o que evita a produção de quantidades de itens desnecessários.

Para maior rapidez de resposta à demanda, a produção deve tomar como ponto de partida a expedição dos produtos acabados, uma vez que, segundo a filosofia JIT, um processo só deve ser iniciado quando o subsequente tiver consumido efetivamente o lote anterior, caracterizando, dessa maneira, a produção puxada (TUBINO; LEMOS, 1999).

Hornburg et al. (2008) apresentam a divisão da programação da produção em dois grupos, sendo eles os sistemas empurrados e os sistemas puxados, cuja principal diferença consiste na forma de inicialização da produção. Segundo a interpretação dos autores, enquanto nos

sistemas empurrados a produção é desencadeada a partir de uma ordem de produção, a qual, sendo concluída pelo posto fornecedor, autoriza a sua produção no posto seguinte, independente do que esteja ocorrendo neste, nos sistemas puxados a produção inicia a partir da previsão de demanda, sendo autorizada pelo cliente interno ou externo através da geração de uma necessidade de novo lote do fornecedor devido à utilização dos produtos dispostos nos estoques intermediários.

Silva e Santos (2014), por sua vez, diferenciam um sistema de produção puxado de um empurrado de acordo com a maneira que é realizado o seu controle e mobilizada a sua produção. Enquanto que o primeiro só é disparado com a verificação da necessidade de reposição de estoques em processo (WIP – *work in process*), os quais têm seu limite definido, o segundo toma por base apenas a demanda prevista e a real, não havendo sincronização entre os processos, sendo, portanto, todos os processos disparados, sem a verificação dos níveis de estoques, que acabam aumentando ilimitadamente.

2.3 Balanceamento da Produção

Tubino e Lemos (1999) definem o balanceamento da produção como a fabricação de pequenos e variados lotes, produzidos de acordo com a demanda, e a manutenção de estoques reduzidos entre processos, o que torna a produção mais flexível e rápida no atendimento ao mercado consumidor.

Segundo Shingo (apud TUBINO E LEMOS, 1999), das maneiras existentes de se balancear as quantidades produzidas, como a padronização dos processos em uma linha de produção a partir da capacidade mais alta de processamento, ou da mais baixa, a que melhor condiz com o conceito JIT é a de equilibrar a produção em quantidades suficientes para suprir os pedidos recebidos, permitindo que o balanceamento da produção seja realizado em lotes de acordo com as exigências do mercado consumidor.

Além da produção de lotes reduzidos, estabelecendo, assim, bases para o balanceamento da produção com a demanda, Lemos (1999) ainda cita como vantagens da produção balanceada o aumento da flexibilidade de variação de produtos, diminuição dos níveis de estoques e do tempo de supervisão, melhoria da qualidade e aperfeiçoamento.

Cabe também ressaltar que o balanceamento da produção possibilita a eliminação de alguns desperdícios considerados pela filosofia JIT e relacionados à sincronização, fluxo e balanceamento, como a superprodução, tempo de espera e estoque, sendo até mesmo mais importante, segundo Lemos (1999), que a velocidade de produção.

2.4 Sistema *Kanban*

Utilizado como um método de planejamento e controle da produção puxada, o sistema *Kanban* tem como propósito limitar a quantidade de material em processo, simplificando os tradicionais sistemas de controle produtivo, os quais fazem uso de ordens de produção, montagem e compras, e apresentando um controle visual da circulação do material no chão de fábrica (PERGHER et al., 2014).

O sistema *Kanban* é considerado por Ohno (apud FACÓ et al., 2014) um dos pilares do sistema *Just in Time*, assim como o *Jidoka*. Sendo assim, ele compactua do mesmo princípio de redução dos custos com a minimização dos estoques, através da busca contínua do lote unitário. Lemos (1999) justifica a sua utilidade como sendo um programa de balanceamento do fluxo de produtos por meio do processo produtivo, objetivando a melhora do sistema de produção e propiciando a participação e envolvimento dos colaboradores para que seja possível atingir uma alta produtividade, funcionando como uma ordem de produção, que gerencia o processo de maneira a garantir a produção dos elementos no momento certo.

De acordo com a definição de Slack (2002), esse método permite a operacionalização do processo de planejamento e controle puxado através da utilização de cartões com as informações dos materiais para a realização do movimento de seus lotes e abastecimento dos setores de acordo com a necessidade do estágio cliente, o qual utiliza essa ferramenta como forma de avisar o estágio fornecedor. Seu sistema “puxado” de planejamento e controle é, também, determinado pela verificação antecipada da demanda para que, então, sejam produzidos somente os itens necessários, evitando-se, assim, estoques desnecessários e seus consequentes custos (MOURA et al., 2013). Esses cartões são geralmente de papel, mas existem também outras formas de sinalização, como luzes e sinais eletrônicos.

Silva e Santos (2014) descrevem o funcionamento do sistema *Kanban* de maneira clara e coesa:

- Quando têm necessidade, os operadores de uma estação de trabalho cliente retiram um contenedor cheio do supermercado de seu fornecedor e o devolve vazio ao mesmo tempo que afixam no painel *Kanban* o cartão a ele vinculado.

- Os cartões afixados no painel *Kanban* disparam a produção da estação de trabalho fornecedora, que produz até o limite do supermercado, que é definido pelo número de *kanbans* (e conseqüentemente, contenedores padrão).

Essa explicação define o desempenho de sistemas de cartão único, sendo este de produção. No entanto, em sistemas onde existem grandes distâncias entre as estações de trabalho, faz-se necessário, além deste, o uso de cartões de movimentação, que sucede com o mesmo princípio dos cartões únicos.

Para Ribeiro (1989), as vantagens da utilização do sistema *Kanban* consistem em: limitar o estoque máximo através do número de cartões *Kanban*, aumentar a eficiência com a diminuição do número de cartões circulando, identificar visualmente as necessidades de reposição, banir virtualmente a burocracia e eliminar a programação de produção dos itens controlados pelo sistema.

Lemos (1999) cita uma seqüência de cinco regras para a operacionalização do sistema *Kanban* segundo a filosofia JIT:

1- Um centro de trabalho deve retirar somente os itens necessários de um processo precedente nas quantidades requeridas, e igualmente importante, no tempo requerido.

2- Um centro de trabalho ou processo deve produzir somente os itens que foram removidos pelo centro de trabalho ou processo subsequente.

3- Itens defeituosos nunca devem passar para o processo subsequente.

4- O nível de estoque no sistema de produção é ditado pelo número de *kanbans* existentes desde que cada *kanban* represente o conteúdo de um contenedor. O número de *kanbans* deve ser minimizado. Com a redução do número de *kanbans* e o tamanho de cada contenedor, o nível de estoques é progressivamente reduzido.

5- O sistema *Kanban* pode somente ser usado quando existe pequenas flutuações de demanda no final da linha de montagem. Este sistema é relevante para produções repetitivas e não pode acomodar grandes variações de demanda.

Para o cálculo do número de *kanbans*, é preciso primeiramente determinar o tamanho do lote de cada item, o qual é definido de acordo com o número de *setups* diários e o tamanho do contenedor, sendo que quanto maior o tempo de *setup*, maior o tamanho do lote necessário para a difusão dos custos e menor a sua frequência (LEMOS, 1999). O cálculo do número de cartões *Kanban* ocorre conforme a Equação 1:

$$N = \frac{D}{Q} \cdot LT \cdot (1 + S) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

N = número de cartões *Kanban*;

D = demanda média diária;

Q = tamanho por contenedor ou cartão;

LT = *lead time* máximo de produção para cada item;

S = fator de segurança em percentual do dia.

A principal razão da aplicação do sistema *Kanban*, no entanto, não está na determinação do número de cartões, mas sim, de acordo com Shingo (1996), no seu aperfeiçoamento para que esse valor seja minimizado, através da execução da produção em lotes pequenos e minimização do tamanho de cada um com a redução do *setup*, utilização dessas medidas para redução dos tempos de atravessamento mínimo e eliminação dos estoques mínimos ($I+S$), os quais são tratados como segurança contra a instabilidade da produção.

A partir dessas medições é possível reduzir o ponto de pedido e o limite inferior de estoque, além de diminuir o número de *kanbans* com a redução dos tempos de *setup*, o que proporciona respostas rápidas às mudanças e diminuição do ciclo de produção, permitindo a operação com um número mínimo de *kanbans* e rápida reação frente às variações da demanda (LEMOS, 1999).

Monden (apud LEMOS, 1999), menciona a necessidade em se determinar mensalmente a programação mestre de produção e o número de *kanbans* em cada centro de trabalho com base na demanda média do período, logo, quando a demanda mensal se altera, espera-se que o número de *kanbans* por mês também seja alterado. Entretanto, em fábricas que operam para um grande mercado consumidor, como a Toyota, a variação da demanda é insignificante, não havendo a necessidade de realizar um ajuste do número de *kanbans*. Para os demais tipos de organização, essa rotina de reajuste mensal se faz bastante interessante para que seja possível reduzir os níveis de estoques.

De acordo com Danni (1997), o estoque máximo de cada estágio do sistema produtivo compreende o número de *kanbans* circulando por ele e o tamanho do lote de produção, sendo que o ajuste de ambas as medidas é a forma mais adequada para a obtenção das dimensões atualizadas do sistema *Kanban* implantado. Por conseguinte, é possível regular os níveis de estoque através da redução tanto do número de cartões *kamban* transitando e aumento do tamanho do lote que cada cartão representa, quanto do tamanho do lote e aumento do número de *kanbans* (LEMOS, 1999).

Lage Junior e Godinho Filho (2008) atentam a um importante detalhe: o sistema *Kanban* foi desenvolvido para atender as necessidades próprias da fábrica da Toyota em que foi concebido, sob uma esfera produtiva e competitiva própria. Sendo assim, cabe às empresas que desejam atuar sob esse sistema a verificação da sua aplicabilidade e adaptação do seu modelo de acordo com suas respectivas necessidades.

Lemos (1999) também faz uma ressalva a esse método de aplicação do sistema *Kanban* utilizando a Equação 1, a qual desconsidera a dependência que o *lead time* apresenta em relação ao número de *kanbans*, ao tamanho do lote e outros elementos que podem intervir no ponto ótimo de operação do sistema *Kanban*, como a variabilidade dos tempos de processo, de demanda, de *setup*, problemas de qualidade (retrabalho, por exemplo) e frequência de parada de máquinas. Assim sendo, faz-se necessária a procura por métodos que auxiliem na busca pelo melhor dimensionamento do número de *kanbans* e tamanho de seus lotes, considerando fatores os mais próximos possíveis da realidade do processo produtivo em que se está inserido o sistema *Kanban*.

2.5 Modelagem

Lourenço (apud Holanda et al., 2015) define a modelagem como uma reprodução intangível dos elementos funcionais e hierárquicos da realidade de um sistema. Holanda et al. (2015) ainda complementam essa definição como sendo a “construção de um modelo que reflete a realidade física ou mental, e é expresso através de uma linguagem de modelação”, que seria o meio de representação do modelo, compreendendo apenas os aspectos mais significativos de um certo problema. Paragon (apud Antonelli et al., 2014) também define a modelagem como

uma representação abstrata da realidade, na qual somente suas características mais relevantes são consideradas.

A principal utilidade da modelagem se faz presente na tomada de decisão, sendo, portanto, muito empregada como ferramenta de auxílio na busca e análise de formas que visam o atingimento dos objetivos do plano estratégico das organizações. Lachtermacher (2009) menciona a existência de duas maneiras para a tomada de decisão entre opções de escolha conflitantes e adversárias, que seriam a intuição através da experiência gerencial ou a execução da modelagem das diferentes alternativas.

2.5.1 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta muito útil na análise de fluxos de trabalho e identificação de oportunidades de melhoria através da facilidade que sua ampla visualização do processo oferece, além de apresentar como vantagens baixo custo e elevado impacto (OLIVEIRA, 2006).

Guimaraes e Prazeres (2014) citam como outra utilidade do fluxograma o apontamento das ligações de um setor com os demais setores de uma organização em cada etapa do processo produtivo.

Os principais tipos de fluxogramas apresentados por Harrington (apud Guimaraes e Prazeres, 2014) são:


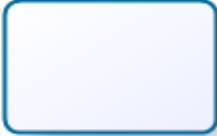

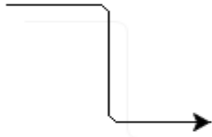

- Diagrama de bloco, que permite uma rápida noção do processo;
- Fluxograma padrão, que possibilita uma análise detalhada dos inter-relacionamentos;
- Fluxograma funcional, o qual expõe o fluxo entre áreas ou organizações;
- Fluxograma geográfico, que exhibe o fluxo entre diferentes áreas ou locais.

Independente de qual seja o fluxograma examinado, sua análise deve considerar, principalmente, o fluxo, o sequenciamento das atividades, as áreas envolvidas e suas relações e dependências, distâncias percorridas, esperas e duração do ciclo, e os dados informados (GUIMARAES; PRAZERES, 2014).

Peinado e Graeml (2007) definem o fluxograma como sendo a representação da sequência de passos de um trabalho através da utilização de símbolos gráficos para facilitar a sua interpretação, caracterizando-se, portanto, como um recurso visual desfrutado pelos gerentes de produção para a análise dos sistemas produtivos, com o intuito de identificar oportunidades de melhoria da eficiência dos processos.

O Quadro 2 apresenta alguns dos principais símbolos de representação do fluxo de um processo do *software Bizagi Modeler*, que foram utilizados no presente trabalho.

Quadro 2: Simbologia de fluxogramas utilizados para fluxos de processos

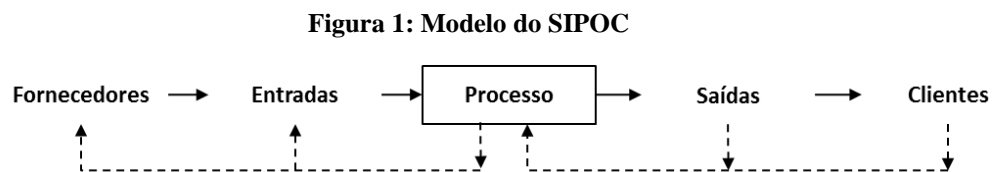
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Evento de início: indica onde um processo particular iniciará. Inicia o processo, portanto nenhum fluxo de sequência está conectado a ele.
	Tarefa: atividade que se encontra incluída dentro de um processo. É utilizada quando o trabalho no processo não é quebrado.
	Decisores: locais dentro de um processo de negócio onde o fluxo da sequência pode tomar dois ou mais caminhos alternativos.
	Fluxo da sequência: usado para mostrar a ordem que as atividades serão realizadas no processo. Cada fluxo tem apenas uma fonte e um único alvo.
	Evento final: indica onde um processo acabará. Encerra o fluxo do processo, portanto, nenhum fluxo de saída se conecta a ele.

Fonte: Bizagi (2014)

2.5.2 Matriz SIPOC

Segundo Pande et al. (2001), a matriz SIPOC é uma ferramenta que proporciona uma visualização de um processo, onde são apresentados os fornecedores, as entradas, as saídas e os clientes do mesmo. A origem da sigla SIPOC, proveniente do inglês, está relacionada justamente a sua estrutura, sendo: Suppliers, os fornecedores; Inputs, os insumos; Process, o processo; Outputs, os produtos obtidos na saída; Customers, os consumidores.

Shankar (2009) afirma que seu principal objetivo é facilitar a identificação das etapas do processo, envolvendo somente as etapas principais e tudo que está correlacionado a elas, não sendo necessário apresentar pontos de decisão do procedimento. É possível verificar a representação do modelo na Figura 1:



Fonte: Adaptado Shankar (2009)

Shankar também detalha brevemente como se estruturar o SIPOC:

- Fornecedores: Quem são os fornecedores da entrada?;
- Entradas: Se identifica os insumos do processo;
- Processo: Se insere o nome do processo;
- Saídas: Se identifica os produtos resultantes do processo e;
- Cliente: Quem são os consumidores da saída?

2.6 Simulação Computacional

Caracterizada como um recurso muito utilizado na engenharia, a simulação pode ser classificada como icônica, quando se assemelha à realidade, representando o sistema físico real através de modelos físicos; analógica, quando é realizada a comparação de algo pouco familiar, que seria o real, com algo mais conhecido, reproduzindo o análogo; ou matemática, a

qual descreve as características essenciais do sistema físico real através de símbolos matemáticos, configurando-se como um importante instrumento de previsão (BAZZO E PEREIRA, 2006).

Bazzo e Pereira (2006) explicam o uso do computador para o desenvolvimento de uma simulação como decorrente da sua capacidade de computar resultados através de cálculos realizados segundo regras estabelecidas, armazenar grande quantidade de dados e realizar o seu desenvolvimento quando solicitados, servindo como um eficiente banco de dados, e, tornar a confecção de desenhos mais rápida e versátil.

Harrel et al. (2000) introduzem a simulação computacional como a associação da modelagem com a simulação de sistemas produtivos, de produtos ou serviços, possibilitando, assim, a obtenção de respostas rápidas à tomada de decisão a um baixo investimento de capital. Os mesmos autores a definem como uma imitação de uma realidade através do desenvolvimento de um modelo computacional, que possibilita a melhoria do desempenho do sistema representado através da sua análise virtual.

Silva et al. (2013) esclarecem que essa imitação “é baseada no tempo e leva em conta os recursos, limitações e aleatoriedades intrínsecas ao sistema, bem como a forma como estas interagem entre si com o passar do tempo, possibilitando uma análise profunda sobre o funcionamento do sistema simulado”.

A função da simulação computacional é reproduzir um sistema real ou hipotético através de modelos de lógica matemática em *softwares* próprios para esse fim (ANTONELLI et al., 2014). Cabe também à simulação, a criação e experimentação de sistemas através da execução de um modelo matemático computadorizado (CHUNG, 2004).

Santos et al. (2015) consideram a simulação uma ferramenta cuja importância está presente na possibilidade de análise de variados cenários de um mesmo sistema, sendo que o seu balanceamento permite a apuração do cenário mais rentável. A credibilidade dessa seleção e de tomada de futuras decisões com base nesse estudo deve-se ao fato de os dados provenientes da simulação procederem de resultados estatisticamente confiáveis (Chwif e Medina, 2010, apud SANTOS et al., 2015).

Segundo Castanharo e Campos (2015), o principal propósito da utilização da simulação computacional para a realização de projetos é a aplicação de testes ao funcionamento do

sistema reproduzido num modelo computacional, medindo-se as variáveis identificadas como de maior importância, como a capacidade produtiva, a fim de detectar ao final da simulação, a viabilidade do processo e suas possibilidades de melhoria. Um outro motivo seria a possibilidade de identificação de possíveis falhas ou problemas no processo, como a presença de gargalos (SAAD,2003, apud Castanharo e Campos, 2015).

Freitas Filho (2008, apud Lima e Marcato, 2015) cita como vantagens da simulação computacional:

- Possibilidade de modificação no modelo quando necessário;
- Facilidade de aplicação em relação ao método analítico, cuja aplicação requer quantidades excessivas de números;
- Possibilidade de detalhamento das informações necessárias do sistema real;
- Detecção de gargalos em um plano visual.

Quanto às desvantagens, o autor menciona:

- Necessidade de treinamento específico sobre o simulador, devido à sua complexidade;
- Resultados similares, mas não iguais, para aplicação por indivíduos diferentes;
- Demanda de grande período de tempo com tentativas de simplificações, podendo gerar resultados insatisfatórios.

Law (2007) também apresenta considerações a respeito das vantagens e desvantagens da simulação computacional. Para o autor, essa ferramenta pode, em muitos casos, representar a única maneira para investigar sistemas mais complexos e imprevisíveis e que não podem ser analisados segundo um modelo matemático analítico; ela possibilita a avaliação do desempenho do sistema sob um conjunto de operações projetadas; permite maior controle sobre as experimentações; permite o controle do tempo, possibilitando a comparação de diferentes experimentações para a escolha da melhor alternativa segundo um dado requerimento.

A principal desvantagem apresentada por Law (2007) consiste no fato de que, o modelo apresenta somente estimativas das suas verdadeiras características para um determinado conjunto de parâmetros de entrada, não possibilitando conclusões imediatas, as quais tornam-se confiáveis somente após várias replicações da simulação.

Pereira e Dantas (2015) também atentam ao fato de que a interpretação dos resultados obtidos com a simulação computacional é de difícil captação, tendo em vista que num mesmo modelo estão presentes diversos e aleatórios processos. Não é recomendada, portanto, a utilização dos

dados de saída de uma única replicação do sistema como verdade absoluta e desconsiderar o período de aquecimento (período em que os dados da simulação apresentam elevada variabilidade em relação aos dados do período estacionário), se o comportamento do estado estacionário do sistema é o que importa (LAW apud PEREIRA; DANTAS, 2015, p. 4).

É possível constatar que a simulação computacional apresenta desvantagens que podem ser compensadas pelas suas vantagens. É preciso, no entanto, analisar as necessidades do sistema decisório da organização, verificando quais as vantagens e desvantagens da simulação computacional em relação à análise prática do sistema real. Cabe mencionar que, mesmo com sua complexidade e elevado custo de aquisição dos *softwares* utilizados, a simulação computacional se faz, em muitos casos, mais viável econômica e estrategicamente do que a tentativa direta no processo, tendo em vista que consequências no ambiente virtual não geram impactos negativos, como podem gerar no ambiente real.

2.6.1 FlexSim®

Um exemplo de *software* utilizado na simulação computacional é o *FlexSim Simulation Software*, uma ferramenta bastante empregada em modelos de produção de bens tangíveis, mas também apta a reproduzir modelos de execução de serviços. Seu destaque deve-se à possibilidade de criação flexível e customizada de cada linha de produção para cada empresa, demonstrando a funcionalidade do processo produtivo e permitindo uma clara e precisa visualização da maneira como as atividades são executadas (SILVA et al., 2015).

No livro de Beaverstock et al. (2012), é possível verificar algumas informações que auxiliam no desenvolvimento de uma simulação no *software* em questão. Alguns dos principais objetos de modelagem estão apresentados no Quadro 3 e podem ser dispostos em um *layout* ou superfície de simulação, semelhante ao arranjo físico real que está sendo modelado, sendo que a sua conexão representa o fluxo dos itens através do modelo e permite a comunicação entre os objetos.

Quadro 3: Descrição dos recursos fixos

<i>Fixed Resource</i>	Descrição
<i>Source</i>	Cria e libera <i>flowitems</i> .
<i>Sink</i>	Recebe e remove <i>flowitems</i> da simulação.
<i>Queue</i>	Armazena temporariamente <i>flowitems</i> quando os objetos a jusante não podem aceitá-los; Pode receber vários <i>flowitems</i> de cada vez; Pode processar <i>flowitems</i> em lote; Recebe <i>flowitems</i> até o atingimento de sua capacidade máxima específica.
<i>Processor</i>	Processa ou força o atraso de um <i>flowitem</i> ; Pode chamar os operadores para as operações de <i>setup</i> ou processamento; Pode incorrer em paradas programadas ou não programadas; Manipula um <i>flowitem</i> de cada vez ou vários <i>flowitems</i> de forma independente.
<i>MultiProcessor</i>	Realiza um conjunto de operações ou processos em sequência; Operações / processos podem ter tempos separados e chamar recursos separadamente; Manipula um <i>flowitem</i> por vez.
<i>Conveyor</i>	Movimenta <i>flowitems</i> por mais de um caminho fixo em uma determinada velocidade; <i>Flowitems</i> entram e saem de um <i>conveyor</i> de cada vez; Capacidade limitada pelo número de <i>flowitems</i> ou espaço disponível no <i>conveyor</i> ; O espaçamento entre <i>flowitems</i> podem ser especificados.
<i>Combiner</i>	Agrupa vários <i>flowitems</i> ; Pode ter tempos de processo, uso de recursos, e incorrer em paradas programadas ou não programadas.
<i>Separator</i>	Aceita uma entrada de cada vez; Pode ter tempos de processo, uso de recursos, e incorre em paradas programadas ou não programadas.

Fonte: Beaverstock (2012)

Os *Fixed resources* ou recursos fixos são os objetos que enviam, recebem e realizam as operações ou atividades dos *flowitens*, os quais, por sua vez, representam os elementos mais básicos de uma simulação e podem ser caracterizados como discretos, quando simbolizam caixas, produtos, clientes, documentos, entre outros, se o intuito é a reprodução de eventos discretos, que ocorrem em pontos discretos no tempo, ou podem ser fluidos, quando descrevem um comportamento contínuo ao longo do tempo, como o enchimento de um tanque com algum líquido.

O transporte dos *flowitens* ocorre de um recurso para outro, podendo se suceder com a passagem instantânea entre os *fixed resources* ou através do uso de um objeto intermediário entre eles. O objeto que realiza esse transporte pode ser fixo, como um *conveyor*, ou móvel, denominado *task executer*, como uma empilhadeira, guindaste, pessoa, entre outros.

A cada um desses recursos de modelagem podem ser definidas propriedades específicas para que simulem da maneira que se deseja. As principais propriedades, encontradas no livro de Beaverstock et al. (2012), que podem ser delimitadas são:

- *General*: atributos que afetam a aparência, dimensionamento, posição e rotação de um objeto e apresentam as portas de conexão do objeto;
- *Labels*: tabela de dados definidos pelo usuário ou atributos associados com o objeto;
- *Statistics*: informações estatísticas, específicas para o objeto e que são coletadas enquanto o modelo estiver simulando, podendo ser representadas em tabelas e gráficos;
- *Flow*: lógica da maneira como ocorre a movimentação dos *flowitens*;
- *Triggers*: funcionalidade opcional do objeto para melhorar o comportamento, criar e responder a eventos que o envolvam;
- *Breakdowns*: informações sobre a confiabilidade do objeto e aplicação de dados para configurar as tabelas de tempo entre falhas e de reparo.

Com isso, é possível constatar que, devido ao fato de possibilitar uma aberta configuração e modificação dos recursos específicos e necessários para cada processo a ser simulado, atendendo às suas peculiaridades e exigências, a interface do *FlexiSim* configura-se eficaz para todos os níveis de usuários, representando uma considerável opção de *software* para simulação de processos.

3 METODOLOGIA

Segundo a definição de Gil (2002), pesquisas exploratórias proporcionam maior familiaridade com o problema, visando o seu esclarecimento ou construção de hipótese, objetivando o aperfeiçoamento das ideias ou a revelação de intuições e proporcionando a realização de diferentes análises sobre variados aspectos do objeto de estudo, devido à sua flexibilidade. Sendo assim, é possível caracterizar o presente trabalho como uma pesquisa exploratória, segundo os seus objetivos, tendo em vista que a intenção é a exploração de duas ferramentas de apoio da engenharia de produção, sendo elas o sistema *Kanban* e a simulação computacional, com o intuito de analisar a sua interação sob a realização do ajuste do sistema *Kanban* através da modelagem computacional do processo.

Ainda, considerando-se a classificação de Gil (2002), o estudo aqui realizado, em se tratando de uma pesquisa exploratória, envolveu, em sua elaboração, um levantamento bibliográfico, para a construção da revisão de literatura, e a análise das metodologias propostas por Danni e Tubino (1997), Tubino e Lemos (1999) e Lemos (1999), utilizados como base para o seu desenvolvimento.

De acordo com o planejamento realizado, o presente trabalho tanto tem caráter bibliográfico, quanto pode ser caracterizado como um estudo de caso. O primeiro se sucede devido ao embasamento em material já elaborado do qual se foi utilizado para o seu desenvolvimento, e, o segundo, pelo seu propósito de “proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados” (GIL, 2002).

A pesquisa também pode ser caracterizada como experimental, uma vez que, para a sua realização, foram selecionadas variáveis capazes de influenciar o objeto de estudo, sendo definidas formas de controle e observação dos seus efeitos. No caso, o objeto de estudo trata-se do número de *kanbans* e a variável, o *lead time* máximo. Como a aplicação dos testes foi realizada em somente um produto da linha de produtos da empresa estudada, a pesquisa classifica-se melhor, segundo Gil (2002), como uma pré-experimental, por envolver um único grupo.

A escolha do simulador de remo como o produto a ser estudado deve-se à sua grande demanda, servindo como um importante exemplo a ter o seu *Kanban* estudado e reajustado, abrindo uma possível precedência para a realização desse reajuste aos demais produtos da

linha. Dessa forma, o presente trabalho englobou os setores de conformação e solda, que por sua vez, foram selecionados devido ao fato de que somente nesses setores o planejamento da produção ocorre, em sua maior parte, através do sistema *Kanban*.

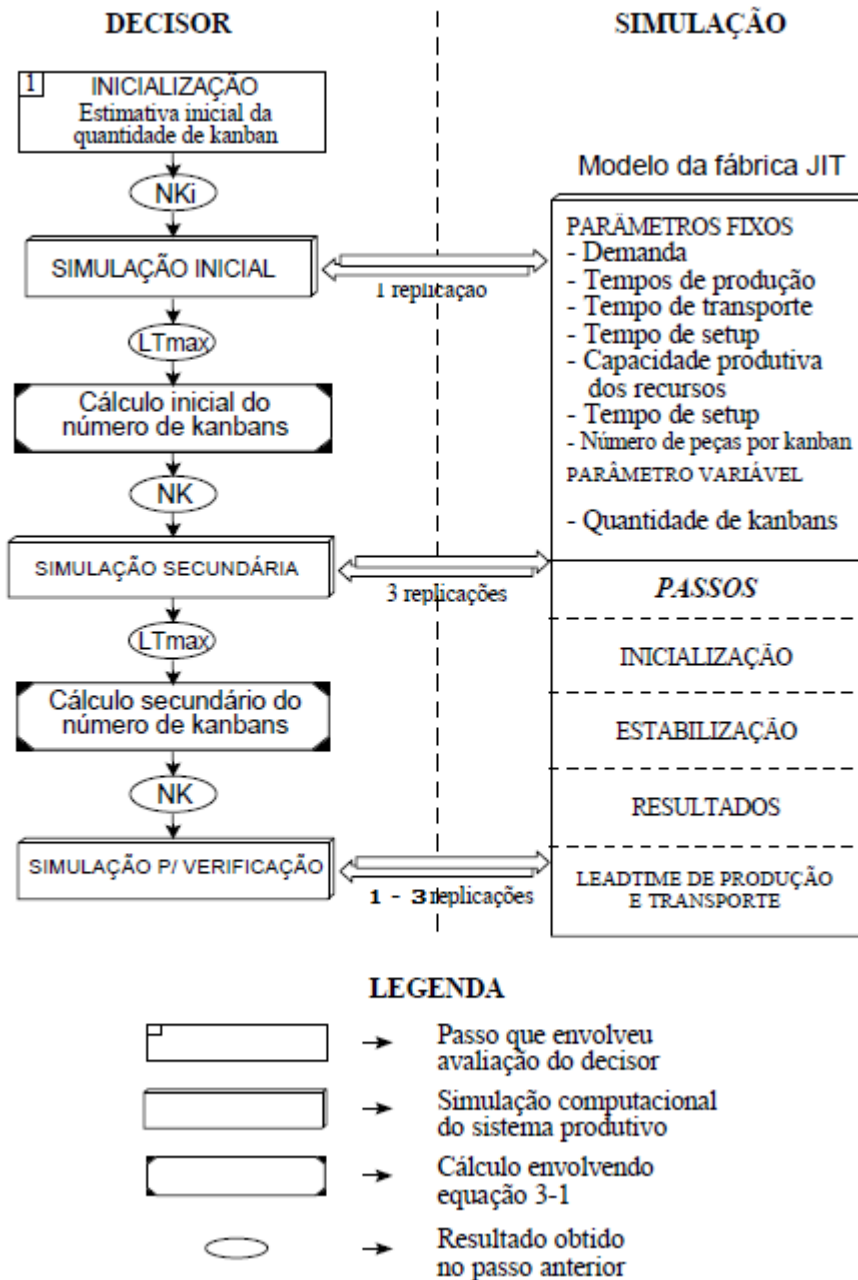
Primeiramente, para um melhor entendimento do processo produtivo, foi desenvolvido um fluxograma de toda a produção da fábrica, para que os setores possam ser situados dentro do contexto do fluxo de materiais, e um fluxograma das peças que compõem o simulador de remo. Também foi desenvolvida uma matriz SIPOC para cada peça do equipamento em questão, visando um entendimento macro e uma visão sistêmica do processo produtivo do simulador de remo nos setores de conformação e solda. Os processos apresentados nas matrizes foram detalhados num outro fluxograma, apresentando as atividades executadas na conformação e solda.

A partir dos fluxogramas e da matriz SIPOC, foram desenvolvidos o modelo e sua simulação computacional no *FlexSim Simulation Software*, onde foram inseridos dados e características, como o *layout* do chão de fábrica da área do almoxarifado de matéria-prima, dos setores da solda e conformação, do almoxarifado da conformação e do estoque de bases e acessórios, para a retirada das dimensões da área de produção e do maquinário dos setores em questão, e tempos de ciclo e *setup*, demanda, capacidade produtiva, tamanho dos lotes *Kanban* e quantidade de cartões *Kanban* das peças que compõem o simulador de remo. Tais informações foram obtidas através de análises de informações coletadas do sistema da empresa, observações diretas da fábrica e entrevistas informais com os responsáveis das linhas e alguns operadores de máquinas. Os dados da demanda foram referentes ao período de janeiro a outubro de 2016 e da capacidade produtiva dos robôs, de agosto à metade de novembro de 2016.

Dessa maneira, o modelo foi validado a partir da comparação da capacidade produtiva diária real com a apresentada após a simulação de um período correspondente a um dia, com 22 replicações, obtendo-se, assim, a média diária de produção de um mês.

O ajuste do sistema *Kanban* foi realizado tomando como base a metodologia proposta por Danni e Tubino (2007), a qual estabelece os seguintes passos e está apresentada na Figura 2:

Figura 2: Passos da metodologia de ajuste do sistema Kanban



Fonte: Adaptado Danni e Tubino (1997)

Primeiramente, para a estimativa inicial da quantidade de *kanbans*, foi realizada a simulação do processo produtivo para a obtenção do *lead time* máximo de cada peça, sendo esses valores utilizados no cálculo da quantidade de *kanbans*, através da Equação 1. Para esse cálculo foi utilizado um coeficiente de segurança igual a 1,7, uma vez que a intenção foi a obtenção de valores superestimados, de modo que o sistema trabalhasse com folga. No passo seguinte, foi realizada a primeira simulação com os valores das quantidades de *kanbans* obtidos no passo anterior. Essa simulação inicial teve apenas uma replicação e emitiu, portanto, um novo valor

de *lead time* máximo de cada peça, o qual foi utilizado novamente na Equação 1 para o cálculo inicial do número de *kanbans*, sendo, dessa vez, utilizado o coeficiente de segurança igual a 1,5, tendo em vista que, com a alteração da quantidade de *kanbans*, os *lead times* tendem a aumentar.

Em seguida, esses novos valores das quantidades de *kanbans* foram implementados na simulação secundária, a qual foi replicada três vezes, sendo realizada uma média dos *lead times* obtidos. Essa média foi aplicada na Equação 1, para a realização de um cálculo mais acurado do número de *kanbans*, sendo o coeficiente de segurança utilizado igual a 1,2, uma vez que as incertezas passaram a ser menores.

Por fim, foi realizada a simulação para verificação, na qual foram implementados os últimos valores obtidos do número de *kanbans*. Essa simulação foi replicada 1 vez, sendo realizados os cálculos do número de *kanbans* para os *lead time* obtidos, com um coeficiente de segurança igual a 1. Observando-se o desempenho da simulação, foram, ao final, realizados ajustes nos tamanhos dos lote do produtos cujos estoque permaneciam muito maiores que os demais, reduzindo o coeficiente de segurança a 0,5.

Como uma proposta de mudança do sistema *Kanban* da empresa analisada no presente trabalho, buscou-se realizar a avaliação do desempenho operacional, através de algumas medidas de desempenho, como a quantidade média em estoque, a quantidade máxima em estoque e o tempo médio máximo de permanência em estoque.

Dessa forma, foram coletados esses dados em todas as simulações desde o cenário real até o cenário proposto, e então, analisados os benefícios desse reajuste do número de *kanbans*.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do presente trabalho ocorreu com a caracterização da empresa, descrição do processo produtivo, construção e validação do modelo computacional, ajuste do Sistema *Kanban* e análise e discussão dos resultados.

4.1 Caracterização da empresa

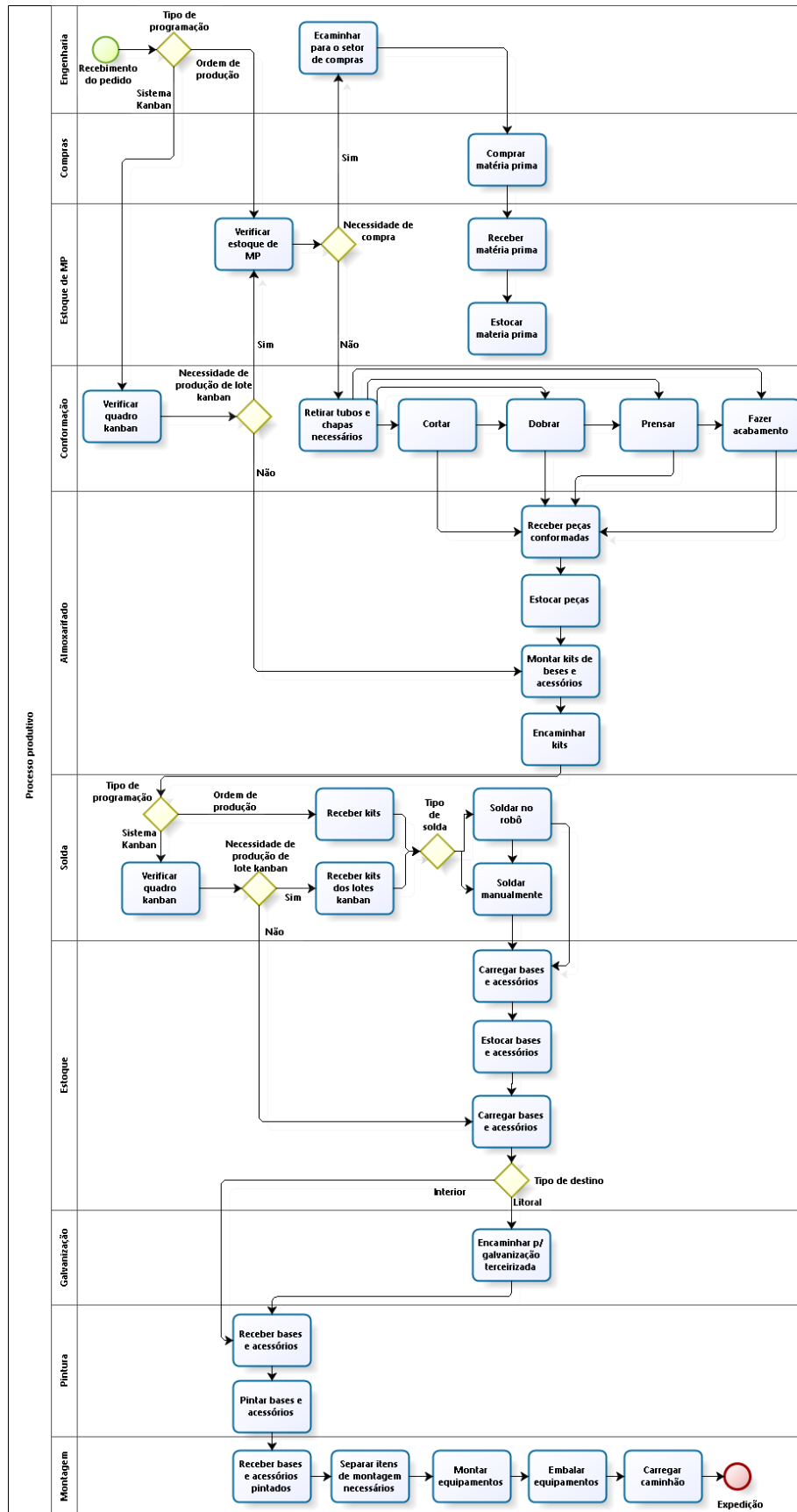
A empresa utilizada como base de estudo do presente trabalho é do ramo metalúrgico e está situada no sul do Brasil, na cidade de Maringá, Paraná. O início do empreendimento deu-se com um convite realizado pela prefeitura de Maringá para participação em um projeto voltado para a saúde da população, com a fabricação de academias da terceira idade, dispostas ao ar livre em lugares públicos, sendo, portanto, pioneira na produção desses produtos na cidade e também no país. Hoje, vista como referência nacional, a empresa apresenta em seu portfólio, além da linha de Academias da Terceira Idade (ATI), Academias para Cadeirantes (APC), Academias da Primeira Idade (API), Academias para Jovens e Adultos (AJA), Residencial, Mobiliário Urbano e *Off Road*. Cada linha é composta por diversos produtos, totalizando mais de 100 variedades produzidas pela empresa.

Contando com uma média de 110 colaboradores distribuídos na produção dos equipamentos e administração do negócio, a empresa fatura em torno de 1300 produtos por mês. O setor da produção está dividido na conformação, solda, pintura e montagem, sendo que a conformação engloba os processos de corte, dobra, prensa e acabamento. Existe também um processo terceirizado de galvanização, que ocorre antes da pintura, para os equipamentos destinados a zonas litorâneas. Já o setor administrativo é repartido nos setores: recursos humanos, comercial, compras, financeiro, comércio exterior, recebimento e expedição, e engenharia.

4.2 Descrição do Processo Produtivo

O processo produtivo dos equipamentos que compõem as academias pode ocorrer segundo o sistema *Kanban* ou uma ordem de produção, sendo que somente as peças da linha ATI (Academias da Terceira Idade) têm sua produção controlada por esse sistema. Para os demais produtos, a programação da produção ocorre a partir da emissão de uma ordem de produção. Para um melhor entendimento, foi desenvolvido o fluxograma do processo produtivo geral, apresentado na Figura 3.

Figura 3: Processo produtivo geral



Fonte: Própria (2016)

A produção se inicia com o recebimento do pedido, e, a partir deste, são definidos, no setor da engenharia, quais equipamentos seguirão a programação do sistema *Kanban* e quais necessitarão da emissão de uma ordem de produção. Para o primeiro caso, ocorre, inicialmente, a análise do quadro *Kanban* do setor da conformação para a verificação da necessidade de produção. Ela existindo, é verificado se a matéria-prima presente em estoque é suficiente para a produção do lote, caso não haja necessidade de produção do lote *Kanban*, as peças são retiradas diretamente do almoxarifado. Cabe ressaltar que a produção pelo sistema *Kanban* ocorre continuamente, sem que seja preciso o recebimento de um pedido, mas sim de acordo com a necessidade apontada nos quadros. O pedido somente define quais produtos serão utilizados no momento e a prioridade de produção caso o quadro aponte sua necessidade. Já no segundo caso, uma ordem de produção é emitida, sendo também verificado o estoque de matéria-prima.

A matéria-prima é comumente comprada com antecedência, a partir da previsão de demanda, no entanto, pode ocorrer a falta de alguns insumos para atender ao pedido. Quando isso ocorre, o setor da engenharia encaminha essa necessidade para o setor de compras.

Após a compra e estocagem da matéria-prima, ocorrendo antecipadamente ou não ao recebimento do pedido, são retiradas as quantidades necessárias de chapas ou tubos para atender ao lote *Kanban* ou à ordem de produção, sendo então encaminhados para o setor de conformação. Na conformação, ocorre o corte, dobra, prensa e acabamento das peças, não seguindo, necessariamente, todas essas etapas nem essa sequência.

As peças, então conformadas, são armazenadas no almoxarifado, onde, a partir da necessidade de produção de lotes *Kanban* na solda, ou para dar sequência à ordem de produção, são montados os *kits* com as peças que vão compor as bases e os acessórios dos equipamentos. Esses *kits* são encaminhados à etapa seguinte, na qual realiza-se a soldagem manual e/ ou pelo robô das peças que são, em seguida, carregadas e armazenadas no estoque. A partir dessa etapa, os produtos seguem apenas a programação da ordem de produção, tendo em vista que somente na conformação e solda o controle é realizado através do sistema *Kanban*.

A maioria das peças segue diretamente para o próximo estágio, a pintura, no entanto, quando o pedido atende uma região litorânea, há a necessidade de realizar um processo terceirizado de galvanização, evitando-se assim, a oxidação do material. No setor da pintura, as bases e os

acessórios são lavados e seguem alguns passos de preparação, como escorrimento da água, lixamento da peça, aplicação de ar comprimido e álcool, e queima do material, para então serem pintados.

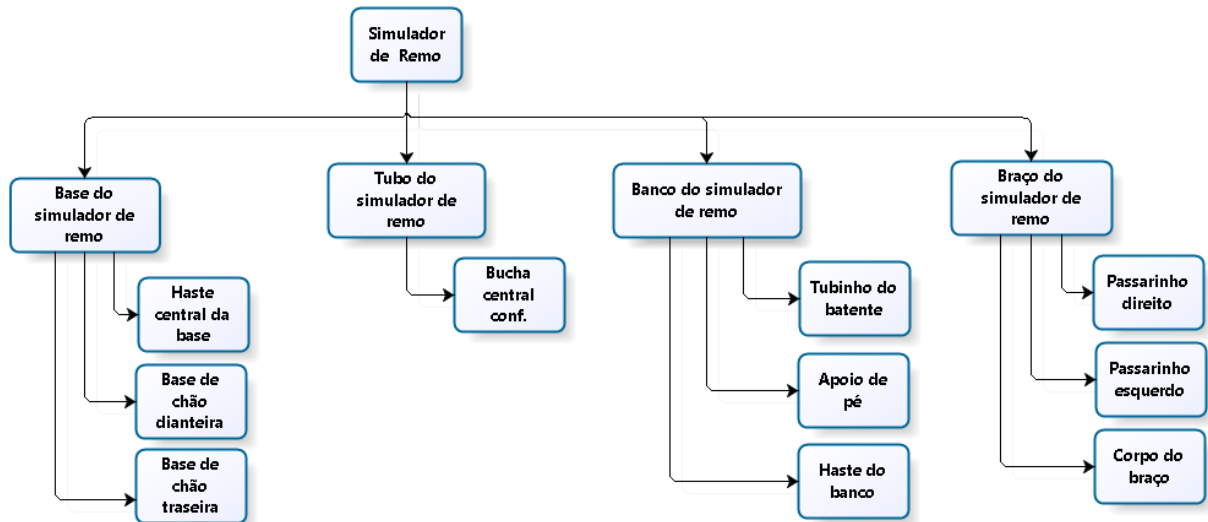
Após a pintura, as bases e acessórios são encaminhados para o setor de montagem, onde ocorre o encaixe desses para a formação dos equipamentos, que são, em seguida, embalados e posicionados no caminhão que irá expedi-los.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, o produto escolhido foi o simulador de remo, cuja demanda apresentou um dos maiores índices desde o início da fabricação das academias na empresa em questão, segundo análise da curva ABC dos produtos faturados de janeiro de 2012 a agosto de 2016, com uma média de 3062 equipamentos vendidos por ano, o que representa aproximadamente 4,5% do total de produtos faturados anualmente.

Tal produto compõe a linha ATI e tem sua produção controlada pelo sistema *Kanban*. Ele é composto por uma base e três acessórios, sendo eles o tubo, o banco e o braço. Cada um deles é formado pelas peças que são produzidas na conformação. Algumas delas estão presentes em mais de um equipamento, não sendo, portanto, somente produzidas para a confecção do simulador de remo. Sendo assim, somente as peças produzidas unicamente para o equipamento em questão foram consideradas nesse estudo, uma vez que os cartões *Kanban* das demais levam em consideração a demanda e o *lead time* de todos os equipamentos que delas fazem uso, o que inviabiliza o presente trabalho.

Das peças consideradas neste estudo, portanto, as que compõem a base são a haste central, a base de chão dianteira e a base de chão traseira. O tubo é composto pela bucha central conformada e o braço, pelo passarinho direito, passarinho esquerdo e corpo do braço. Já o banco é formado pela haste do banco, apoio de pé e tubinho do batente. Para uma melhor compreensão da composição do produto, foi realizado um fluxograma demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Composição simulador de remo



Fonte: Própria

Todas as peças demonstradas na Figura 4 são produzidas na empresa a partir de tubos e chapas, que são as matérias-primas utilizadas na fabricação. Foram desenvolvidas matrizes SIPOC para uma melhor visualização do processo produtivo do simulador de remo nos setores da conformação e da solda.

A Figura 5 apresenta a matriz SIPOC da produção da base do simulador de remo:

Figura 5: SIPOC base do remo

Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Cientes
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar a haste central da base	Haste central da base	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar a base de chão dianteira	Base de chão dianteira	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar a base de chão traseira	Base de chão traseira	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Almoxarifado	Haste central da base			
	Base de chão dianteira			
	Base de chão traseira	Soldar peças	Base do simulador de remo	Estoque
Setor Engenharia	Demais peças Necessidade de produção de lote kanban Máquinas, ferramentas e operadores			

Fonte: Própria

Como é possível verificar, a haste central e as bases de chão dianteira e traseira são as saídas do processo de conformação, se tornando entradas do processo de solda, para a produção da base do equipamento.

A Figura 6 a seguir apresenta a matriz SIPOC do tubo do simulador de remo:

Figura 6: SIPOC tubo do remo

Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes
Setor Conformação	Bucha central conformada			
Fornecedor da matéria - prima	Demais peças			
Almoxarifado		Soldar peças	Tubo do simulador de remo	Estoque
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban Máquinas, ferramentas e operadores			

Fonte: Própria

Nota-se que foi considerado somente o processo de solda realizado na empresa para a produção do tubo, uma vez que o processo produtivo da bucha central conformada não será simulado. No entanto, essa peça é a entrada da matriz, a qual gera como saída o tubo do remo, sendo que um dos fornecedores, nesse caso, é o setor da conformação, que produz a bucha.

A Figura 7, por sua vez, apresenta a matriz SIPOC do processo produtivo do banco do simulador de remo:

Figura 7: SIPOC banco do remo

Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar o tubinho do batente	Tubinho do batente	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar o apoio de pé	Apoio de pé	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar a haste do banco	Haste do banco	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Almoxarifado	Tubinho do batente			
	Apoio de pé			
	Haste do banco	Soldar o banco do remo	Banco do simulador de remo	Estoque
Setor Engenharia	Demais peças Necessidade de produção de lote kanban Máquinas, ferramentas e operadores			

Fonte: Própria

Nesse caso, são obtidos como saídas dos processos de conformação o apoio de pé, a haste do banco, e o tubinho do batente, os quais tornam-se entradas do processo de solda.

Por fim, a Figura 8 apresenta a matriz SIPOC da produção do braço do simulador de remo:

Figura 8: SIPOC braço do remo

Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar o passarinho direito	Passarinho direito	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar o passarinho esquerdo	Passarinho esquerdo	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Cliente	Pedido			
Setor Engenharia	Necessidade de produção de lote kanban	Conformar o corpo do braço	Corpo do braço	Almoxarifado
Fornecedor da matéria - prima	Matéria - prima Máquinas, ferramentas e operadores			
Almoxarifado	Passarinho direito Passarinho esquerdo			
	Corpo do braço	Soldar o braço do remo	Braço do simulador de remo	Estoque
Setor Engenharia	Demais peças Necessidade de produção de lote kanban Máquinas, ferramentas e operadores			

Fonte: Própria

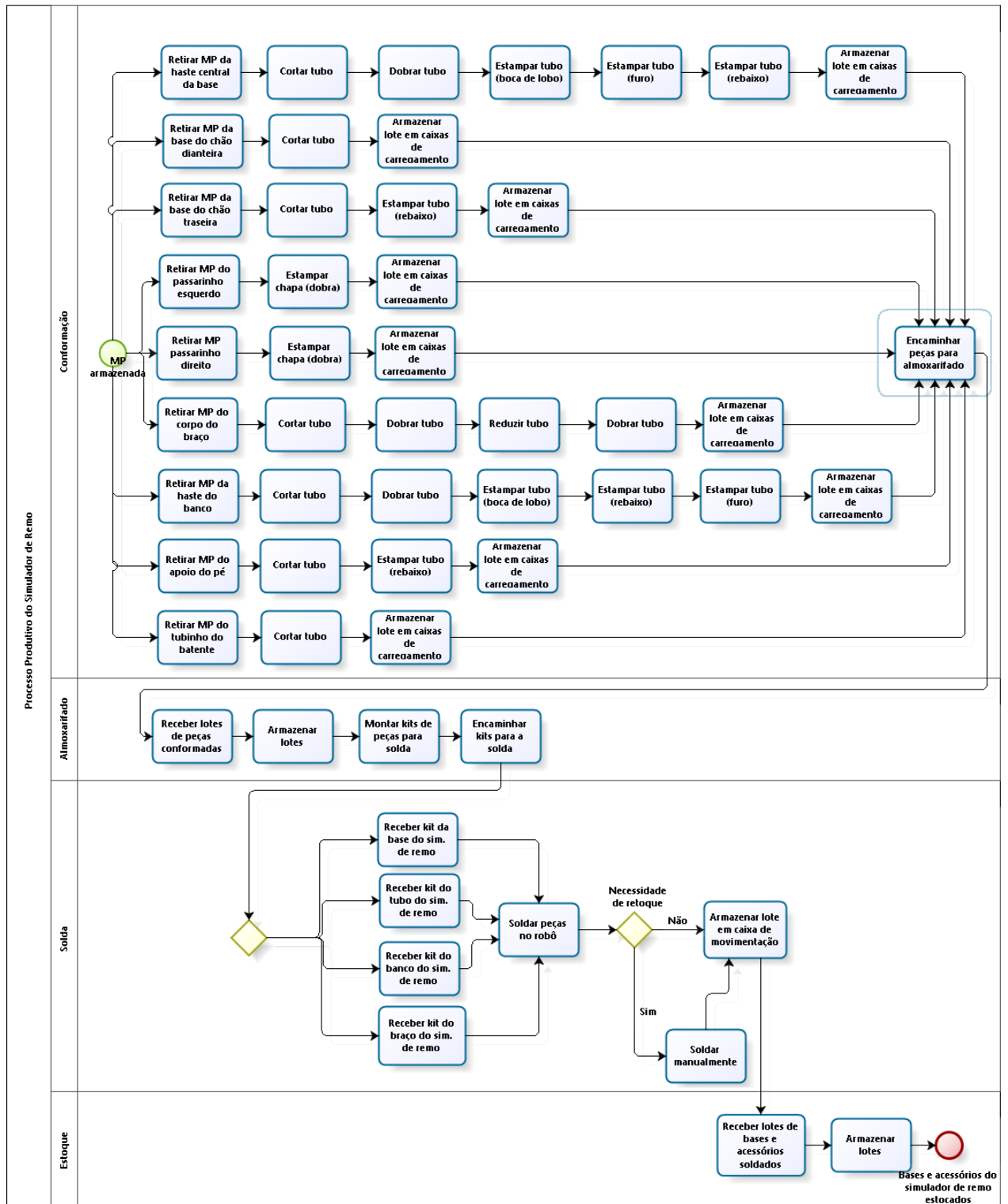
A sua observação permite verificar, assim como nos anteriores, que as saídas dos processos de conformação (passarinho direito, passarinho esquerdo e corpo do braço) são entradas do processo subsequente, a solda, que apresenta o braço do remo como produto final.

Analisando as quatro matrizes SIPOC, é possível depreender que para todos os processos de conformação é preciso entrar o pedido recebido, a necessidade de produção de lote *Kanban* segundo a demonstração do quadro *Kanban*, a matéria prima da peça, as máquinas e ferramentas e os operadores. Para tanto, os fornecedores desses processos são os clientes finais, o setor de engenharia e os fornecedores de matéria-prima. Cabe ressaltar, que, por tratar-se de um sistema puxado, os clientes finais iniciam a produção, justamente por serem eles quem desencadeiam a fabricação dos equipamentos a partir da solicitação de um pedido. Já o cliente dos processos de conformação apresentados é o almoxarifado, o qual recebe os lotes *Kanban*, armazenando-os até que haja a solicitação de produção na solda.

Como mencionado, as saídas dos processos de conformação são as entradas dos processos de solda, assim como a necessidade de produção de lote *Kanban*, máquinas, ferramentas, operadores e as demais peças que compõem a base e os acessórios. Os fornecedores são, portanto, o almoxarifado e o setor de engenharia. Já as saídas são as bases e os acessórios, e o cliente, o estoque. A única diferença das entradas e saídas entre os processos de solda são as peças específicas de cada processo.

Os processos produtivos de conformação e solda apresentam atividades próprias para a produção de cada peça, sendo, por esse motivo, retratados separadamente nas matrizes SIPOC. O fluxo desses processos pode ser visualizado mais detalhadamente na Figura 9.

Figura 9: Processo Produtivo Remo



Fonte: Própria

O fluxograma apresentado na Figura 9 demonstra as etapas do processo produtivo simulador no modelo computacional. Esse processo se inicia com os insumos necessários armazenados no estoque de matéria-prima. O setor da conformação retira, portanto, com a utilização da

ponte de rolamento, essas matérias-primas, que são cortadas em máquinas semiautomática e automática. O processo de conformação se encerra aqui para a base do chão dianteira e o tubinho do batente, sendo seus lotes *Kanban* encaminhados para o almoxarifado. As demais peças sofrem outras transformações no setor da conformação, passando por processos de dobra, prensa e acabamento. A prensa é também definida como a tarefa de estampar, podendo se configurar num tipo de dobra, rebaixo, corte da sua extremidade, denominado boca de lobo, e furação. Finalizando essas etapas, as peças são armazenadas em caixas de carregamento, contendo as quantidades definidas pelo sistema *Kanban*, sendo, então encaminhadas para o almoxarifado.

O almoxarifado, por sua vez, tem como função, além de estocar as peças, separar os *kits* de bases e acessórios que serão soldados. Nessa etapa, as peças são separadas de acordo com as quantidades necessárias para suprir os lotes *Kanban* da solda.

A solda realizada na base e acessórios do simulador de remo ocorre pelos robôs. Ocorrido o processo de soldagem, os lotes contidos nas caixas de carregamento são encaminhados para o estoque, onde serão armazenados até o recebimento de algum pedido, para que, então, as peças sigam para a pintura e montagem.

A Tabela 1 apresenta as peças, as transformações por elas sofridas, as máquinas que as realizam, seus tempos de ciclo e *setup* e a frequência com que estes ocorrem, o número de cartões *Kanban*, a quantidade de peça por cartão e o tempo de ciclo do lote.

Tabela 1: Dados do processo produtivo

PEÇA	PROCESSO	MÁQUINA	TEMPO DE CICLO DO LOTE (s)	TEMPO DE SETUP (s)	FREQUÊNCIA DE SETUP	NÚMERO DE KANBANS	PEÇAS POR CARTÃO
Haste central da base	Cortar tubo	Corte 3	192	600	a cada troca	3	24
	Dobrar tubo	Dobra 1	360	1500	a cada troca		
	Estampar boca de lobo	Prensa 3	60	600	a cada troca		
	Estampar furo	Prensa 1	300	600	a cada troca		
	Estampar rebaixo	Prensa 1		600	a cada troca		
Base do chão dianteira	Cortar tubo	Corte 2	200	600	a cada troca	3	25
Base do chão traseira	Cortar tubo	Corte 2	200	600	a cada troca	3	25
	Estampar rebaixo	Prensa 1	250	600	a cada troca		
Passarinho esquerdo	Estampar dobra	Prensa 3	125	600	a cada troca	3	25
Passarinho direito	Estampar dobra	Prensa 3	125	600	a cada troca	3	25
Corpo do braço	Cortar tubo	Corte 2	240	600	a cada troca	3	24
	Dobrar tubo	Dobra 2	648	1500	a cada troca		
	Reduzir tubo	Conformadora	624	900	a cada troca		
	Dobrar tubo	Dobra 5	648	1500	a cada troca		
Haste do banco	Cortar tubo	Corte 3	200	600	a cada troca	3	25
	Dobrar tubo	Dobra 1	1000	1500	a cada troca		
	Estampar boca de lobo	Prensa 3	250	600	a cada troca		
	Estampar rebaixo	Prensa 2	250	600	a cada troca		
Apoio do pé	Cortar tubo	Corte 2	200	600	a cada troca	3	25
	Estampar rebaixo	Prensa 2	250	600	a cada troca		
Tubinho do batente	Cortar tubo	Policorte	125	sem setup	-	3	25
Base do simulador de remo	Soldar	Robô 2	3735	1200	a cada troca	3	5
Braço do simulador de remo	Soldar	Robô 2	2380	1200	a cada troca	3	17
Banco do simulador de remo	Soldar	Robô 2	7718	1200	a cada troca	3	17
Tubo do simulador de remo	Soldar	Robô 1	1250	1200	a cada troca	3	10

Fonte: Própria (2016)

É possível notar que a bucha central conformada não se encontra presente na Tabela 1, devido ao fato dessa peça ter seu uso iniciado há pouco tempo na empresa, não apresentando ainda cartões *Kanban* para o controle de sua produção.

Os dados apresentados na Tabela 1 foram utilizados para a programação do modelo computacional. Cabe ressaltar que para cada máquina existe um colaborador para operá-la, com exceção das três máquinas de dobra e da conformadora, que são todas operadas por somente dois operadores, que dividem o serviço conforme a sua disponibilidade. O *setup* das máquinas ocorre para a troca da matriz ou gabarito, que são as ferramentas que definem a execução própria de operação de cada peça, e para a alteração da programação das máquinas automáticas e dos robôs, sendo, portanto, executado a cada troca de peça produzida. A única máquina que não necessita de *setup* é a de policorte.

Como mencionado, o sistema *Kanban* aplicado na empresa está dividido nos setores da conformação e solda, que, portanto, apresentam, cada um, um quadro *Kanban* para identificação das necessidades de produção. Os dados com o dimensionamento do sistema *Kanban* de cada produto foram também apresentados na Tabela 1, e serviram de base para o início da modelagem computacional do processo produtivo e posterior comparativo com resultados após o reajuste do sistema.

Para o cálculo da demanda média mensal, foram analisados os dados das vendas do período de janeiro a outubro de 2016, sendo obtido um valor médio da demanda do total de equipamentos e um da demanda do simulador de remo, chegando-se aos resultados de 1253 equipamentos e 80 simuladores de remo faturados mensalmente. Conclui-se, com isso, que a demanda do simulador de remo representa 6% da demanda total de equipamentos.

Já o cálculo da capacidade produtiva foi realizado separadamente para cada setor. Para a conformação, foram analisados esses mesmos dados do faturamento dos meses de janeiro a outubro de 2016, tendo em vista que não existe, atualmente, um controle de capacidade produtiva desse setor. Como para cada equipamento existe uma proporção de 6 bases e acessórios para cada equipamento e 6 peças mais uma para cada base ou acessório, conclui-se que são produzidas, pelo menos 2050 peças na conformação por dia, considerando-se um mês de 22 dias. Na solda iniciou-se esse controle da capacidade produtiva por robô em agosto de 2016, sendo possível a análise dos dados computados até a metade de novembro. Obteve-se com isso, uma média de 216 peças soldadas por dia, sendo que dessas, 17 são bases e acessórios do simulador de remo.

A Tabela 2 apresenta sucintamente essas informações, que foram utilizadas para a construção da simulação computacional e sua validação, assim como para o reajuste do sistema *Kanban*.

Tabela 2: Capacidade produtiva e demanda

	Capacidade produtiva diária		Demanda média mensal
	Conformação	Solda	
Todos os equipamentos	2050 peças	216 bases e acessórios	1253 equipamentos
Simulador de remo	123 peças	17 bases e acessórios	80 equipamentos
%	6%	8%	6%

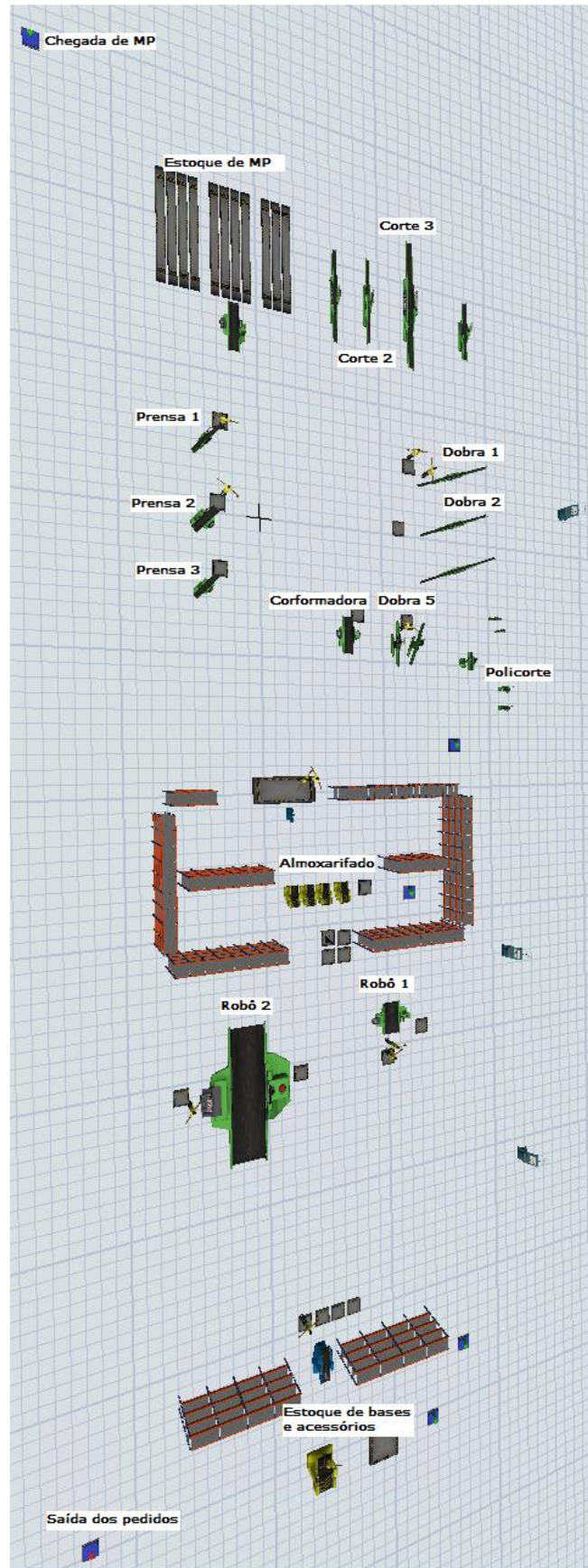
Fonte: Própria (2016)

Nota-se, a partir da tabela, que a proporção da capacidade produtiva diária de bases e acessórios do simulador de remo em relação à de todos os equipamentos é maior do que a da conformação, tendo em vista que para esse cálculo foram considerados os dados do faturamento e uma proporção generalizada de peças por equipamento, e não uma contagem exata de peças produzidas por dia no setor.

4.3 Construção e Validação do Modelo Computacional

Para a construção do modelo computacional foi utilizado um *layout* do chão de fábrica para a retirada das dimensões de espaço e dos objetos. No modelo foram representados o estoque de matéria prima, o setor da conformação, o almoxarifado central, onde ficam as peças após serem conformadas, os robôs da solda e o estoque de bases e acessórios, seguindo essa ordem na Figura 10.

Figura 10: Modelo Computacional



Fonte: Própria (2016)

Na chegada de MP, representada por uma *source*, foram criados 10 tipos de itens, os quais, diferenciados entre si por cores, surgem em quantidades suficientes para que não faltem no processo produtivo. Eles são em seguida armazenados no estoque de MP até que sejam utilizados. Este estoque é representado por algumas *queues*, sendo uma para cada produto. O único item que não é armazenado é a bucha central conformada, que é enviada direto para o almoxarifado central, já que sua simulação vai ocorrer somente para a montagem do *kit* do tubo do remo.

As peças seguem, então para o corte, dobra, prensa e acabamento (policorte), de acordo com a sequência de transformação de cada uma. Esses processos foram representados por *processors*, os quais tiveram seus tempos de *setup* e ciclos de produção programados para a conformação de um lote por vez.

Após todas as etapas necessárias de conformação, os lotes seguem para uma fila no almoxarifado, de onde são retirados e separados por um *separator* nas quantidades em que os lotes são formados, e por fim armazenados nas *racks* do almoxarifado, até que sejam solicitados na solda. Para a formação dos *kits* da solda, foram utilizados *combiners*, um para cada *kit*, de modo a serem separados quantos *kits* forem necessário por vez, não sendo preciso respeitar a ordem de criação dos paletes que formam os *kits*. Esses paletes, por sua vez, são criados também de modo a não faltarem na produção, servindo para a montagem dos *kits*, e representam as caixas de movimentação da fábrica para carrega-los.

Assim que formados, os *kits* seguem para os robôs da solda, os quais são representados por *processors*, também programados de acordo com o tempo de *setup* e ciclo de um lote, sendo, em seguida, carregados para uma fila que antecede o estoque de bases e acessórios. A partir dessa fila, os *kits* são separados por um *separator* nas quantidades que formam os lotes *Kanban* da solda e armazenados em *racks*. Conforme essas peças chegam ao estoque, vão sendo combinados em conjuntos de um equipamento, ou seja, uma base, um braço, um banco e um tubo, para a composição de um simulador de remo, sendo retirados da simulação por uma *sink*.

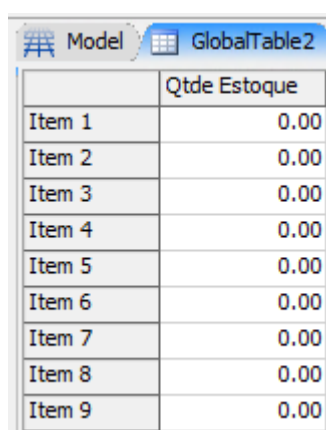
Para cada *processor* existe um operador (*operator*) para realizar o processo e o *setup*. Os únicos que utilizam um *dispatcher* ligado a dois *operators* são as dobras 1, 2 e 5 e a conformadora. O carregamento das peças na conformação ocorre pelos operadores das máquinas que acabaram de produzir as peças para a próxima etapa. Na solda, esse

carregamento ocorre por dois operadores responsáveis por isso, sendo um deles, juntamente com o colaborador do almoxarifado central, também responsável pela separação dos *kits*, por isso a criação de um *dispatcher* para o almoxarifado e outro para o carregamento das peças na solda. Já a combinação das peças para formarem um equipamento no estoque de bases e acessórios é realizada por um outro *operator*.

Por se tratar de uma produção em processo de um sistema *Kanban*, foram dispostas duas *sources*, uma no almoxarifado central e outra no estoque de bases e acessórios, para a criação de peças no instante zero, de modo a iniciar a produção com estoques mínimos e não zero.

Para o controle do sistema *Kanban*, foram criadas duas *global table*, uma para o controle do sistema da conformação e outra para o da solda. Para a *global table* da conformação, apresentada na Figura 11, são contabilizadas as quantidades de matérias primas que saem do estoque e da *source* do almoxarifado central e subtraídas as quantidades que saem para a formação dos *kits* da solda. Também são fechadas as portas de saída do estoque de matéria prima e abertas somente quando pelo menos um lote do almoxarifado tiver sido consumido. Essas configurações foram executadas no *Triggers OnExit* do estoque de matéria prima, da *source* do almoxarifado e das *racks* do almoxarifado, como apresentado nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 11: Global Table Kanban Conformação



	Qtde Estoque
Item 1	0.00
Item 2	0.00
Item 3	0.00
Item 4	0.00
Item 5	0.00
Item 6	0.00
Item 7	0.00
Item 8	0.00
Item 9	0.00

Fonte: Própria (2016)

A Figura 11 apresenta a *global table* criada para o controle das peças produzidas na conformação, sendo esses nove itens representantes das peças: haste central da base, base do

chão dianteira, base do chão traseira, passarinho esquerdo, passarinho direito, corpo do braço, haste do banco, apoio do pé e tubinho do batente, respectivamente.

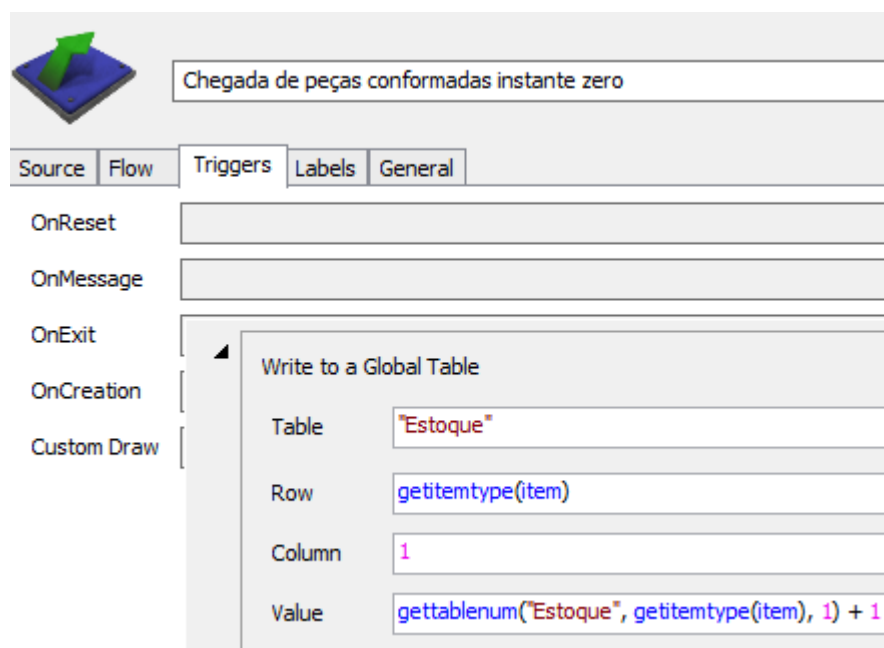
Figura 12 Configuração do Estoque de MP

Queue	Flow	Triggers	Labels	General
		OnReset		
		OnMessage		
		OnEntry		
		OnExit		
		OnEndCollecting		<p>The Action will be applied to the Object if the Condition is true (non-zero)</p>
		Custom Draw		<p>Action: <input type="text" value="closeoutput"/></p> <p>Object: <input type="text" value="current"/></p> <p>Condition: <input type="text" value="true"/></p> <hr/> <p>Write to a Global Table</p> <p>Table: <input type="text" value="Estoque"/></p> <p>Row: <input type="text" value="getitemtype(item)"/></p> <p>Column: <input type="text" value="1"/></p> <p>Value: <input +="" 1)="" 25"="" estoque",="" getitemtype(item),="" type="text" value="gettablenum("/></p>

Fonte: Própria

É possível verificar na Figura 12 que a saída dos *outputs* foi fechada e que quando os itens saírem será enviada à *global table* a informação para que ocorra a soma de 25 unidades a cada *output* retirado do estoque, uma vez que cada peça da conformação representa um lote *Kanban*, de maneira que seja possível saber quantos itens saíram para produção. Essa quantidade foi programada para as peças cujo tamanho dos lotes é de 25 unidades. Para a haste central da base e apoio do pé foi programada a soma de 24 unidades.

Figura 13: Configuração da Chegada de Peças Conformadas no Estante Zero



Fonte: Própria

A figura 13 demonstra como as peças que saem da *source* para o almoxarifado central no instante zero são somadas na *global table*. Nota-se que nesse caso somente uma unidade é somada a cada *output*, isso é justificado pelo fato de que os itens criados são considerados peças unitárias e não lotes. Essa soma ocorre logo no início da simulação e até totalizarem um lote de cada peça, pois são as peças que representam os estoques mínimos. Após o preenchimento de um lote de cada peça, não são mais criados itens nessa *source*.

Figura 14: Configuração do Almojarifado Central

Rack	SizeTable	Flow	Triggers	Labels	General
OnReset					
OnMessage					
OnEntry			Set Label		
OnExit					
OnEndDwellTime					
Custom Draw					
<p>Write to a Global Table</p> <p>Table: <code>"Estoque"</code></p> <p>Row: <code>getitemtype(item)</code></p> <p>Column: <code>1</code></p> <p>Value: <code>gettablenum("Estoque", getitemtype(item), 1) - 1</code></p>					
<p>The Action will be applied to the Object if the Condition is true (non-zero)</p> <p>Action: <code>openoutput</code></p> <p>Object: <code>node("MP Base do chao traseira", model())</code></p> <p>Condition: <code>gettablenum("Estoque", getitemtype(item), 1) <= 50</code></p>					
<p>The Action will be applied to the Object if the Condition is true (non-zero)</p> <p>Action: <code>closeoutput</code></p> <p>Object: <code>current</code></p> <p>Condition: <code>true</code></p>					

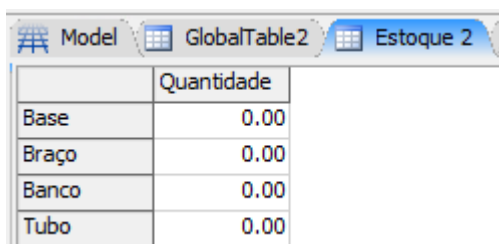
Fonte: Própria

A configuração das *racks* do almojarifado central ocorre como demonstrada na Figura 14. Para cada item retirado, é subtraída uma unidade da *global table*. Além disso, é aqui que as portas de saída do estoque de matéria prima são controladas, uma vez que são abertas somente enquanto a quantidade de peças contabilizada na *global table* for menor ou igual a 50, ou seja, 2 lotes *Kanban*, para as peças cujo tamanho do lote é 25, para as demais a quantidade máxima até o fechamento das portas de saída do estoque de matéria prima é 48. Isso significa que só serão liberadas para produção peças que tiverem pelo menos um lote consumido ou faltante em estoque no almojarifado central, ou que no máximo dois lotes completos estejam em produção ou armazenados no almojarifado para que a produção seja liberada, de modo que ao

atingir o valor dos dois lotes, somente mais um possa ter a sua produção iniciada. Também foi programado que as portas de saída do almoxarifado permaneçam fechadas para que sejam controladas pelo estoque de peças soldadas.

Na solda o controle do sistema *Kanban* ocorre de maneira semelhante, mas nesse caso, como demonstrado na Figura 14, as portas de saída do almoxarifado central é que são fechadas e abertas somente quando no mínimo um lote do estoque de bases e acessórios tiver sido consumido. Para a *global table*, apresentada na Figura 15 a seguir, são contabilizadas as quantidades de peças que saem dos *combiners* que formam os *kits* da solda e da *source* da solda e subtraídas as quantidades que saem do estoque. Nesse caso, assim como na conformação, a configuração ocorreu no *Triggers OnExit* dos objetos mencionados e será apresentada nas Figuras 16, 17 e 18.

Figura 15: Global Table Kanban Solda

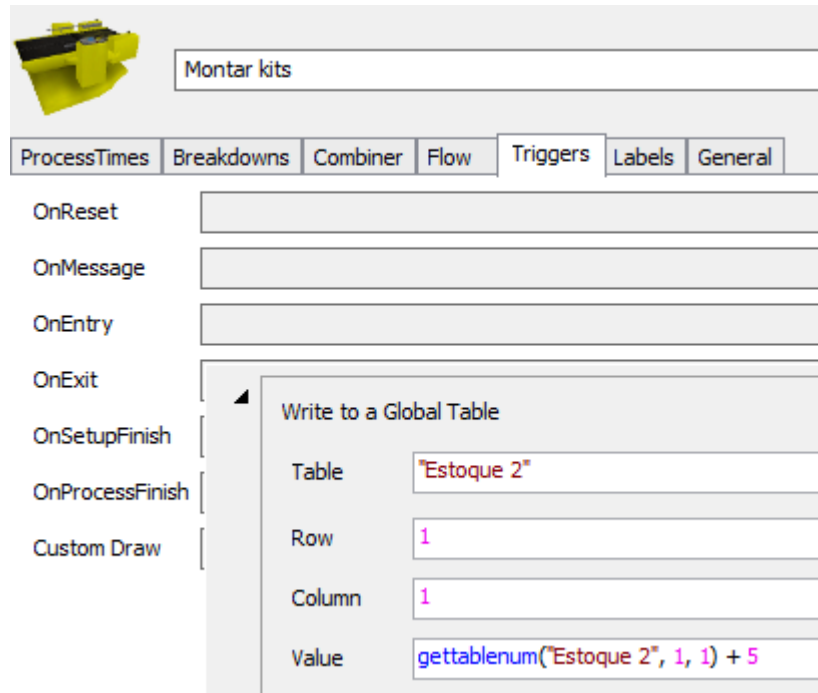


	Quantidade
Base	0.00
Braço	0.00
Banco	0.00
Tubo	0.00

Fonte: Própria

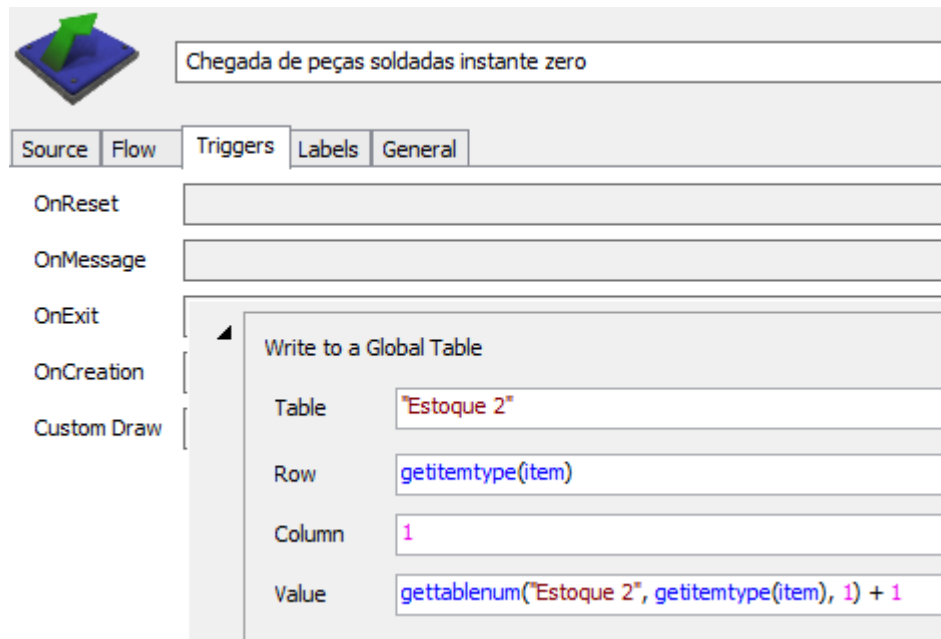
A *global table* apresentada na Figura 15 foi criada para controlar as quantidades de bases, braços, bancos e tubos do simulador de remo em processo na solda ou em estoque de peças soldadas.

Figura 16: Configuração da Montagem dos Kits da Solda



Fonte: Própria (2016)

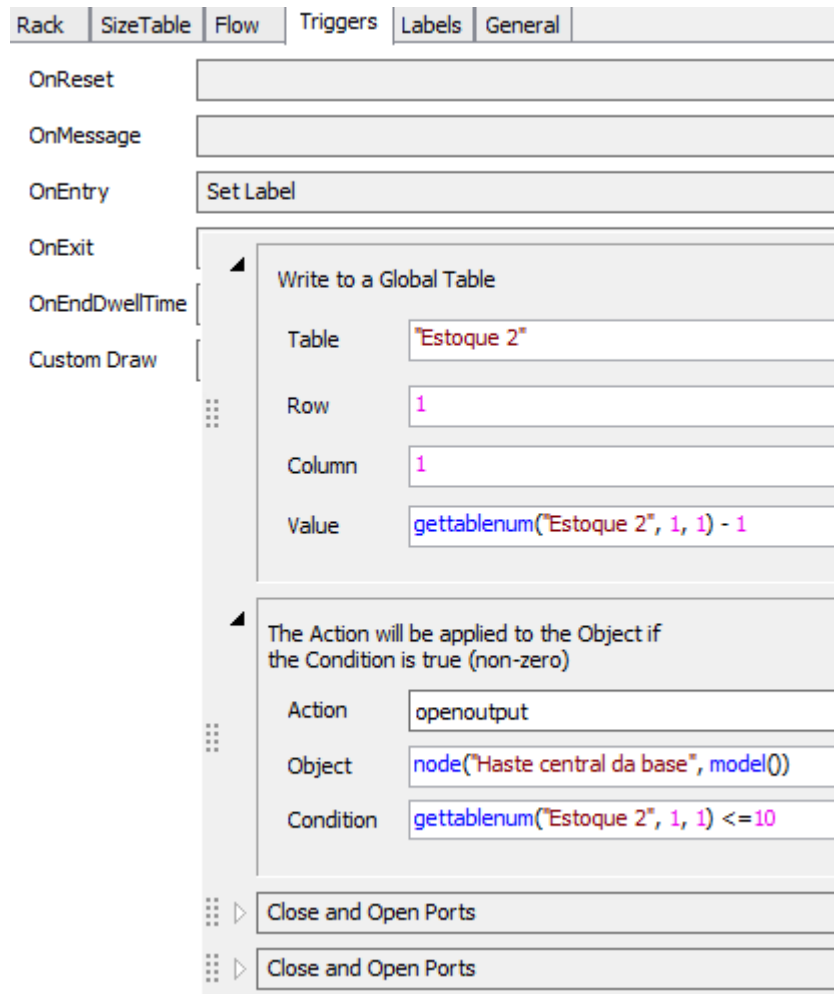
Após serem combinadas as peças e suas quantidades nos respectivos *kits* de bases e acessórios que serão soldados, estes têm as suas quantidades somadas na *global table* da solda ao saírem do *combiner* que os montou, como demonstrado na Figura 16. Como os *kits* são formados nas quantidades dos lotes *Kanban* da solda, a soma é dessa quantidade. A Figura 16 soma 5 unidades, pois representa o lote da base, mas para o braço e o banco foi programada a soma de 17 unidades e para o tubo, 10.

Figura 17: Configuração da Chegada de Peças Soldadas no Estante Zero

Fonte: Própria (2016)

A Figura 17 mostra como ocorreu a configuração das peças que formam o estoque mínimo inicial da solda. Nesse caso, as peças são somadas unitariamente até atingir a quantidade de um lote no início da simulação e depois não são mais criados itens nessa *source*.

Figura 18: Configuração do Estoque de Bases e Acessórios



Fonte: Própria (2016)

A Figura 18 apresenta a configuração das *racks* do estoque de bases e acessórios após a solda. Quando uma peça é retirada do estoque, ocorre a subtração de uma unidade na *global table* da solda. Esse objeto também realiza o controle das portas de saída do almoxarifado central, as quais só são abertas quando a *global table* aponta a quantidade de no máximo dois lotes em produção e/ ou estoque. Como a base, o braço e o banco do simulador de remo são compostos por 3 peças diferentes, realiza-se esse controle para todos essas peças, por esse motivo existem mais duas programações de abertura e fechamento de portas. É importante observar que a figura 18 representa o estoque de bases, utilizado como exemplo, por esse motivo a quantidade máxima é de 10 peças, tendo em vista que os lotes das bases são formados por 5 peças. No entanto, para os acessórios essa quantidade depende do tamanho de seus lotes.

Analisando o funcionamento do modelo, verifica-se que essa maneira de controle do sistema *Kanban* por *global table* permite que todas as quantidades de produtos em processo ou

estoque entre processos não ultrapasse a quantidade máxima de cartões *Kanban*, o que torna a simulação semelhante ao que ocorre na prática, com o controle dos cartões realizado visualmente pelos quadros *Kanban*.

Cabe observar que as peças são produzidas em lotes, sendo, portanto, cada uma representando um lote *Kanban* durante os processos da conformação e da solda, e uma unidade após a separação dos lotes para o armazenamento.

Além da necessidade de controlar as peças em estoque e produção para a simulação de um sistema *Kanban*, também é preciso realizar o controle do *lead time* de cada peça, para que seja possível calcular o seu dimensionamento. Para tanto, foram criadas *labels* que realizam a soma dos tempos desde o momento em que a peça inicia o primeiro processo até a sua entrada no estoque. Como a fábrica utiliza dois sistemas *Kanban* separados, um no setor da conformação e outro no da solda, foram determinados *lead times* também separados, sendo, portanto, necessário criar *labels* nas matérias primas para a contagem do *lead time* da conformação e uma *label* nos paletes que formam os *kits* da solda no almoxarifado para a contabilização do *lead time* das peças na solda.

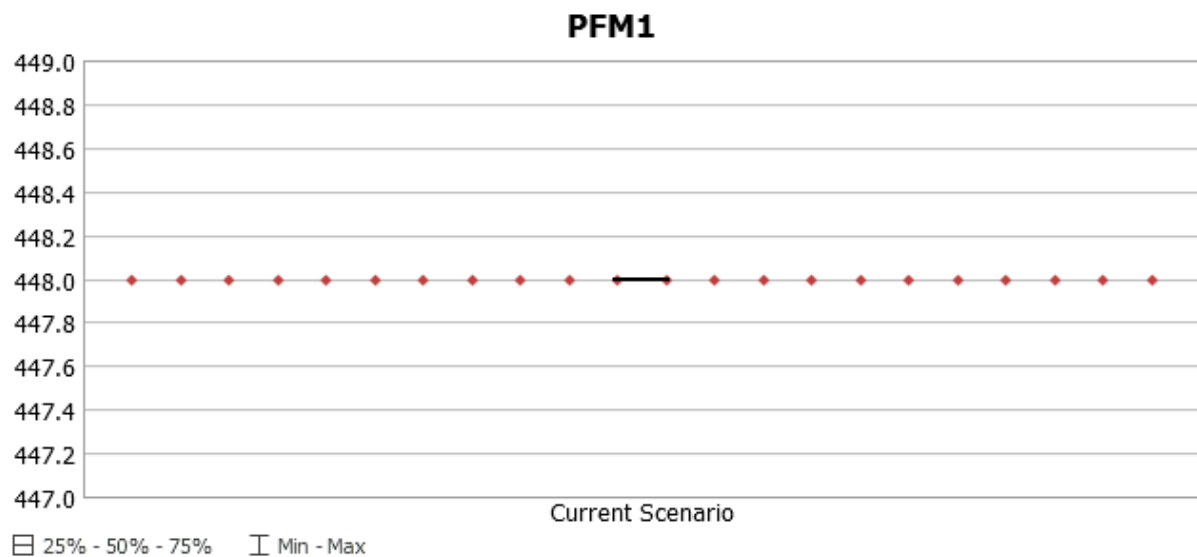
Após a construção do modelo computacional, foi realizada a sua simulação para verificar a sua funcionalidade. Com o sistema rodando de maneira eficiente, foi definido um tempo máximo para a análise da sua capacidade produtiva, possibilitando a comparação com o sistema real. Para isso, foram utilizados os dados da capacidade produtiva dos robôs da solda apresentados na Tabela 2. Como é possível verificar, os robôs são capazes de produzir 17 bases e/ou acessórios do simulador de remo por dia. Para tal, é preciso, em média, 7633 segundos, o que representa 26,5% do tempo total de um dia de produção, considerando que a fábrica trabalha 8 horas por dia. Para chegar nesse valor, foi calculada a média do tempo de produção de um lote de bases e acessórios do simulador de remo na solda e dividido esse valor obtido pela soma das peças por lote, para encontrar o tempo de produção médio por peça. Esse valor foi multiplicado por 17, para verificar o tempo de processamento das 17 peças do simulador de remo soldadas diariamente e somado o tempo de 2 *setups*, tendo em vista que cada lote apresenta em média 12 peças, sendo portanto, necessário pelo menos 2 *setups* para a produção de 17 peças.

Essa porcentagem que o tempo de produção das peças do simulador de remo representa no tempo total de um dia de trabalho foi utilizada para definir a quantidade média de peças

produzidas durante esse tempo no setor da conformação. Sendo assim, a conformação é capaz de produzir pelo menos 544 peças em 7633 segundos, ou seja, 26,5% da capacidade produtiva apresentada na Tabela 2. No entanto, esse valor representa a produtividade para a utilização de toda a capacidade produtiva do setor da conformação, mas o modelo apresenta somente as máquinas e operadores utilizados para a produção das peças do simulador de remo, o que representa 80% das máquinas presentes nesse setor. Sendo assim, o modelo deve ser capaz de produzir em torno de 80% dessa capacidade produtiva, o que significa 435 peças.

A simulação rodou, portanto, por 7633 segundos, em 22 replicações, sendo computados os valores de peças produzidas em cada setor através dos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1: Produtividade da conformação na simulação de inicialização



Fonte: Própria (2016)

Sendo assim, é possível validar o modelo computacional e utilizá-lo como ferramenta para a execução do presente trabalho, a fim de reajustar o sistema *Kanban* do simulador de remo a partir dos resultados que a simulação apresenta.

4.4 Ajuste do Sistema *Kanban*

Seguindo a metodologia proposta por Danni e Tubino (2007), apresentada no tópico 3 Metodologia, foi primeiramente realizada a simulação de inicialização. Com essa primeira simulação, foi possível obter, além dos dados de produtividade apresentados para a validação do modelo, o *lead time* de cada lote, tanto no setor da solda quanto no da conformação. Esses valores foram dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: *Lead time* da simulação de inicialização

Peça	<i>Lead time</i> / lote (segundos)	<i>Lead time</i> / lote (dias)
Haste central da base	4307,31	2,49
Base do chão dianteira	822,45	0,48
Base do chão traseira	1690,83	0,98
Passarinho esquerdo	736,29	0,43
Passarinho direito	736,34	0,43
Corpo do braço	7033,25	4,07
Haste do banco	5073,17	2,94
Apoio do pé	1821,69	1,05
Tubinho do batente	135,36	0,08
Base do simulador de remo	4961,72	2,87
Braço do simulador de remo	6606,53	3,82
Banco do simulador de remo	8944,03	5,18
Tubo do simulador de remo	2478,30	1,43

Fonte: Própria (2016)

Da simulação foram extraídos os valores em segundos, como é possível verificar na Tabela 3, no entanto, para o cálculo do número de *kanbans*, é preciso que o *lead time* esteja na mesma unidade de tempo que a demanda, que no caso, está em dias. Além disso, como a empresa produz por dia muitos outros equipamentos, sendo o simulador de remo representante de 6%

do total demandado por mês, foi considerado, para o presente trabalho, um dia que representa 6% do total de horas trabalhadas na prática, ou seja, um dia de 1728 segundos.

Já para a estimativa da demanda foram considerados dois valores diferentes, tendo em vista que são trabalhados com dois clientes distintos. O setor da conformação produz para suprir as requisições do setor seguinte, sendo assim, seu cliente é o setor da solda. Como foi apresentado na Tabela 2, a solda produz em média 17 bases ou acessórios do simulador de remo por dia, sendo, portanto, essa a demanda do setor da conformação.

O setor da solda, por sua vez, produz para suprir a demanda dos pedidos recebidos pela empresa, já que a partir desse setor, a peças seguem para os setores seguintes, pintura e montagem, somente nas quantidades e especificações das encomendas. Como a demanda é de 4 simuladores de remo por dia e cada equipamento desse é composto por 4 peças produzidas na solda, sendo elas 1 base e 3 acessórios, a demanda de cada peça nesse setor é, portanto, igual a 4. É importante observar que esses valores das demandas foram mantidos constantes em todos os cálculos de reajuste do sistema *Kanban* realizados no presente trabalho.

Além dos valores dos *lead times* obtidos com a simulação de inicialização, também foram analisados para cada produto os dados do estoque médio, da máxima quantidade média em estoque e do tempo máximo médio de permanência das peças em estoque, todos considerando um mês de produção, com 12 replicações. Esses dados foram expostos na Tabela 4.

Tabela 4: Estoque entre processos da simulação de inicialização

Peça	Estoque Médio	Quantidade Máxima em Estoque	Média do Tempo Máximo em Estoque
Haste central da base	57	71	119385
Base do chão dianteira	63	75	123793
Base do chão traseira	63	75	128737
Passarinho esquerdo	63	74	125089
Passarinho direito	57	73	111713
Corpo do braço	52	69	105186
Haste do banco	62	75	112406
Apoio do pé	56	73	108454
Tubinho do batente	64	74	125703
Base do simulador de remo	0,00074	5	37
Braço do simulador de remo	32	51	72425
Banco do simulador de remo	30	51	65165
Tubo do simulador de remo	24	29	55130

Fonte: Própria (2016)

Observando a Tabela 4, é possível inferir que, com exceção da base do simulador de remo, todos os produtos mantiveram em média mais do que dois lotes *Kanban* em estoque, sendo que os valores máximos foram de praticamente os 3 lotes em estoque. O tempo máximo de permanência em estoque também se mostrou bastante elevado, justificado pelo excesso de peças armazenadas.

Como a base mostrou valores destoantes, com uma média de nem uma peça em estoque e no máximo um lote, além de um tempo de espera extremamente inferior aos demais, foi feita uma análise mais apurada do andamento da sua simulação, sendo possível verificar que esse produto acaba tendo o papel de impulsionar ou retardar a produção, devido ao tamanho do seu lote ser menor que dos demais produtos. Isso ocorre porque, assim que um lote de bases é soldado, os demais produtos já estão em estoque em quantidades que possam formar tantos equipamentos quanto sejam possíveis com um lote de bases, então, quando os equipamentos formados saem do sistema, o estoque de bases fica vazio e dos acessórios ainda mantém peças armazenadas.

A partir dos valores obtidos para o *lead time* de cada produto e das demandas estipuladas, foram calculados os números de *kanbans* utilizando a Equação 1. Os resultados obtidos foram arredondados para números inteiros e dispostos na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5: Estimativa inicial da quantidade de *kanbans*

Peça	N	Q
Haste central da base	5	24,00
Base do chão dianteira	1	25,00
Base do chão traseira	2	25,00
Passarinho esquerdo	1	25,00
Passarinho direito	1	25,00
Corpo do braço	8	24,00
Haste do banco	5	25,00
Apoio do pé	2	25,00
Tubinho do batente	0	25,00
Base do simulador de remo	6	5,00
Braço do simulador de remo	2	17,00
Banco do simulador de remo	3	17,00
Tube do simulador de remo	2	10,00

Fonte: Própria (2016)

Analisando a Tabela 5, é possível verificar que os produtos base do chão dianteira, passarinho esquerdo, passarinho direito e tubinho do batente tiveram seus números de *kanbans* menores

ou iguais a 1. Para esses produtos foi realizado um novo cálculo, mas dessa vez para obter o tamanho do lote para 2 cartões *Kanban*. A equação utilizada foi a mesma, sendo apenas substituída a incógnita. Esses novos valores foram apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Estimativa inicial do tamanho do lote

Peça	N	Q
Base do chão dianteira	2	11
Passarinho esquerdo	2	10
Passarinho direito	2	10
Tubinho do batente	2	2

Fonte: Própria (2016)

Observa-se que os tamanhos dos lotes diminuíram para um pouco menos da metade que o utilizado anteriormente. No entanto o tamanho do lote do tubinho do batente reduziu para um valor muito baixo, justificado pelo seu *lead time* curto em relação aos demais, demonstrando uma provável inviabilidade para a produção no cenário real do chão de fábrica. De qualquer forma, esses valores foram programados no modelo computacional a fim de analisar o seu comportamento.

Como esperado, esse tamanho do lote do tubinho do batente não foi capaz de suprir a demanda do banco do simulador de remo, tornando a espera por esse produto muito longa no momento da montagem do *kit* no almoxarifado. Por esse motivo, o tamanho do lote do tubinho do batente foi alterado para 10, assim como ficaram em média os outros produtos que tiveram esse dimensionamento reajustado e o número de cartões permaneceu igual a 2. Dessa maneira, esses 2 lotes são mais do que capazes de produzir um lote do banco do simulador de remo, o qual faz uso de 17 desses produtos.

Para esses novos valores do sistema *Kanban* foram realizadas as modificações necessárias na programação do modelo, o qual foi simulado novamente para obtenção dos *lead times*. Essa simulação é a denominada simulação inicial na metodologia apresentada no tópico 3. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Lead time da simulação inicial

Peça	Lead time / lote (segundos)	Lead time / lote (dias)
Haste central da base	6032,24	3,49
Base do chão dianteira	710,45	0,41
Base do chão traseira	1690,82	0,98
Passarinho esquerdo	661,32	0,38
Passarinho direito	660,37	0,38
Corpo do braço	6730,90	3,90
Haste do banco	5073,17	2,94
Apoio do pé	1920,89	1,11
Tubinho do batente	60,36	0,03
Base do simulador de remo	4961,31	2,87
Braço do simulador de remo	3596,38	2,08
Banco do simulador de remo	8944,02	5,18
Tubo do simulador de remo	2479,92	1,44

Fonte: Própria (2016)

A partir desses novos valores de *lead time*, foram realizados os cálculos dos números de *kanbans*, os quais podem ser verificados na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Cálculo inicial da quantidade de *kanbans*

Peça	N	Q
Haste central da base	6	24,00
Base do chão dianteira	2	11,00
Base do chão traseira	2	25,00
Passarinho esquerdo	2	10,00
Passarinho direito	2	10,00
Corpo do braço	7	24,00
Haste do banco	5	25,00
Apoio do pé	2	25,00
Tubinho do batente	2	10,00
Base do simulador de remo	6	5,00
Braço do simulador de remo	1	17,00
Banco do simulador de remo	3	17,00
Tube do simulador de remo	1	10,00

Fonte: Própria (2016)

Da mesma forma que na estimativa inicial do dimensionamento do sistema *Kanban*, os produtos cuja quantidade de cartões foi igual ou inferior a 1 teve o reajuste do tamanho de seu lote realizado para dois cartões *Kanban*. O tubinho do batente no entanto apresentou o mesmo comportamento que na simulação anterior, ficando, portanto, definido o tamanho de seu lote igual a 10 e sua quantidade de *kanbans* igual a 2. Os novos valores dos tamanhos dos lotes dos produtos foram mostrados na Tabela 9.

Tabela 9: Cálculo inicial do tamanho do lote

Peça	N	Q
Braço do simulador de remo	2	10
Tubo do simulador de remo	2	7

Fonte: Própria (2016)

Essa simulação inicial teve seu comportamento expresso nos dados dispostos na Tabela 10.

Tabela 10: Estoque entre processos na simulação inicial

Peça	Estoque Médio	Quantidade Máxima em Estoque	Média do Tempo Máximo em Estoque
Haste central da base	99	118	153965
Base do chão dianteira	16	22	46108
Base do chão traseira	39	50	87774
Passarinho esquerdo	12	19	42113
Passarinho direito	13	19	45804
Corpo do braço	82	117	111123
Haste do banco	100	123	120811
Apoio do pé	38	49	81113
Tubinho do batente	14	20	53105
Base do simulador de remo	0,00085	5	42
Braço do simulador de remo	15	29	48963
Banco do simulador de remo	29	48	73121
Tubo do simulador de remo	15	19	46553

Fonte: Própria (2016)

Nota-se, a partir da análise da Tabela 10, que os três valores, estoque médio, quantidade máxima em estoque e média do tempo máximo em estoque, aumentaram para os produtos que tiveram o seu número de *kanbans* também aumentado, como é o caso da haste central da base, do corpo do braço e da haste do banco, e diminuíram no caso contrário, para os demais produtos. O banco do simulador de remo teve o dimensionamento do seu sistema *Kanban* mantido constante, sendo possível verificar a pequena variação entre seus valores apresentados na Tabela 10 com os da simulação anterior na Tabela 4.

Aplicando os valores do novo dimensionamento *Kanban* obtidos no cálculo inicial no modelo computacional e realizando uma nova simulação, denominado simulação secundária, com 3

replicações, foram obtidos os seguintes valores de *lead time*, sendo que foram calculadas as suas médias para serem utilizadas na próxima simulação.

Tabela 11: Lead time da simulação secundária

Peça	Lead time / lote (segundos)			Lead time / lote (dias)
Haste central da base	6015,80	4300,37	3908,64	2,74
Base do chão dianteira	710,45	710,45	710,45	0,41
Base do chão traseira	1690,82	1832,35	1830,65	1,03
Passarinho esquerdo	660,37	661,32	660,37	0,38
Passarinho direito	661,34	660,37	661,34	0,38
Corpo do braço	6730,90	8541,17	6729,44	4,24
Haste do banco	5073,16	5073,20	7682,22	3,44
Apoio do pé	1920,89	1687,66	1687,66	1,02
Tubinho do batente	60,36	60,36	60,36	0,03
Base do simulador de remo	4954,65	4955,83	4955,83	2,87
Braço do simulador de remo	2625,38	2625,79	2616,38	1,52
Banco do simulador de remo	8945,17	8944,03	8944,03	5,18
Tubo do simulador de remo	2103,30	2103,30	2103,30	1,22

Fonte: Própria (2016)

Com esses valores foram realizados novos cálculos do número de *kanbans*, apresentados na Tabela 12:

Tabela 12: Cálculo secundário da quantidade de *kanbans*

Peça	N	Q
Haste central da base	4	24
Base do chão dianteira	1	11
Base do chão traseira	2	25
Passarinho esquerdo	1	10
Passarinho direito	1	10
Corpo do braço	7	24
Haste do banco	5	25
Apoio do pé	2	25
Tubinho do batente	2	10
Base do simulador de remo	4	7
Braço do simulador de remo	1	10
Banco do simulador de remo	3	17
Tubo do simulador de remo	2	7

Fonte: Própria (2016)

Como nos outros casos, o tamanho dos lotes dos produtos cujo número de *kanbans* foi igual ou inferior a 1 foi calculado para 2 cartões, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 13: Cálculo secundário do tamanho do lote

Peça	N	Q
Base do chão dianteira	2	8
Passarinho esquerdo	2	7
Passarinho direito	2	7
Braço do simulador de remo	2	7

Fonte: Própria (2016)

Essa simulação secundária teve seu comportamento apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Estoque entre processos da simulação secundária

Peça	Estoque Médio	Quantidade Máxima em Estoque	Média do Tempo Máximo em Estoque
Haste central da base	119	141	140570
Base do chão dianteira	16	22	46230
Base do chão traseira	38	50	82734
Passarinho esquerdo	14	20	40860
Passarinho direito	12	19	34013
Corpo do braço	87	128	89549
Haste do banco	100	123	120924
Apoio do pé	39	49	85171
Tubinho do batente	14	20	50430
Base do simulador de remo	2	12	23990
Braço do simulador de remo	3	17	28354
Banco do simulador de remo	28	48	68660
Tubo do simulador de remo	10	14	33127

Fonte: Própria (2016)

Comparando esses dados da Tabela 14 com os da simulação inicial apresentados na Tabela 10, é possível verificar que, novamente, os produtos cujo sistema *Kanban* foi reduzido, seja em relação ao número de cartões ou ao lote, tiveram estoques e tempo máximo em estoque também reduzidos ou mantidos constantes.

Por fim, foi realizada a primeira simulação de verificação, com a reprogramação do modelo realizada a partir dos novos valores obtidos no cálculo secundário do sistema *Kanban*. Foram obtidos novamente os *lead times* dos produtos e calculados o números de cartões, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Cálculo da quantidade de *kanbans* para verificação 1

Peça	N	Q
Haste central da base	5	24
Base do chão dianteira	2	8
Base do chão traseira	1	25
Passarinho esquerdo	2	7
Passarinho direito	2	7
Corpo do braço	6	24
Haste do banco	4	25
Apoio do pé	1	25
Tubinho do batente	2	10
Base do simulador de remo	4	7
Braço do simulador de remo	1	7
Banco do simulador de remo	2	17
Tubo do simulador de remo	1	7

Fonte: Própria (2016)

Dessa vez, no entanto, os produtos que tiveram o número de *kanbans* igual ou inferior a 1 e cujo tamanho do lote já havia sido calculado por esse motivo em outra simulação mantiveram os valores programados anteriormente e para os produtos cujo tamanho do lote ainda não havia sido calculado foi realizado esse cálculo, independente da quantidade de cartões *Kanban* obtida e apresentada na Tabela 15. O intuito desse cálculo foi a diminuição dos estoques médios e do tempo máximo em estoque desses produtos, que foram os que apresentaram os maiores valores desses aspectos analisados.

Para esse cálculo, foi utilizada a quantidade de 2 cartões para os produtos cuja quantidade havia sido 1 na Tabela 15, ou seja, para a base do chão traseira e apoio do pé. Para os demais produtos, esse valor só tornaria os tamanhos dos lotes ainda maiores, uma vez que se trata de grandezas inversamente proporcionais, sendo por esse motivo utilizado para a base o tamanho do lote igual ao dos demais produtos produzidos na solda, a fim de obter quantidades que

igualmente satisfaçam a demanda do setor. E para a haste central da base, o corpo do braço e a haste do banco foram utilizados os valores obtidos no cálculo do tamanho do lote da base de chão traseira e do apoio do pé, os quais consideraram o número de *kanbans* igual a 2. Foram então calculadas as quantidades de cartões para esses produtos, sendo todos esses resultados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Cálculo do tamanho do lote para verificação 1

Peça	N	Q
Haste central da base	7	17
Base do chão traseira	2	17
Corpo do braço	8	17
Haste do banco	6	17
Apoio do pé	2	17
Banco do simulador de remo	6	7

Fonte: Própria (2016)

Aplicando esses novos valores do sistema *Kanban* no modelo computacional e realizando a sua simulação, foi possível verificar o seu comportamento através da Tabela 17.

Tabela 17: Estoque entre processos da simulação de verificação 1

Peça	Estoque Médio	Quantidade Máxima em Estoque	Média do Tempo Máximo em Estoque
Haste central da base	77	92	58299
Base do chão dianteira	13	15	29090
Base do chão traseira	25	33	50607
Passarinho esquerdo	14	14	27262
Passarinho direito	11	11	26934
Corpo do braço	65	91	102
Haste do banco	80	90	34198
Apoio do pé	24	30	36092
Tubinho do batente	13	20	35650
Base do simulador de remo	8	15	2050
Braço do simulador de remo	11	13	18247
Banco do simulador de remo	2	12	16045
Tubo do simulador de remo	12	13	26632

Fonte: Própria (2016)

Comparando-se os dados da Tabela 17 com os dados da Tabela 14, que apresenta o comportamento dos estoques da simulação secundária, é possível verificar que todos os

valores dos produtos produzidos na conformação tiveram seu estoque médio e máximo reduzidos, assim como o tempo máximo de permanência em estoque. Os produtos produzidos na solda também tiveram seus tempos máximos de permanência em estoque diminuídos, o estoque médio e a quantidade máxima em estoque aumentaram para a base, o braço e o tubo, os quais apresentaram esses valores bem próximos e provaram na simulação que produzem em quantidades também semelhantes, no entanto o banco se apresentou em falta na simulação, o que justifica a significativa redução do seu estoque médio e quantidade máxima em estoque. Por esse motivo, e visando diminuir os estoques médios dos produtos da conformação de uma maneira geral, foi obtido novamente o *lead time* de produção das peças para posterior cálculo do número de *kanbans*. Para esse cálculo foi utilizado o coeficiente de segurança igual a 0,5, tendo em vista que as incertezas estão reduzidas. Além disso, assim como nos cálculos anteriores, para os valores cuja quantidade de cartões foi igual ou inferior a 1, foi calculado o tamanho do lote, tendo definida a quantidade de *kanbans* igual a 2. Esses valores foram, portanto, apresentados na Tabela 18:

Tabela 18: Cálculo da quantidade de kanbans para verificação 2

Peça	N	Q
Haste central da base	4	17
Base do chão dianteira	2	5
Base do chão traseira	2	11
Passarinho esquerdo	2	5
Passarinho direito	2	5
Corpo do braço	5	17
Haste do banco	4	17
Apoio do pé	2	11
Tubinho do batente	2	10
Base do simulador de remo	3	7
Braço do simulador de remo	2	4
Banco do simulador de remo	2	7
Tubo do simulador de remo	2	4

Fonte: Própria (2016)

Os valores então encontrados foram utilizados no modelo computacional, implementando-se as alterações necessárias. Por fim foi executada a sua simulação e obtidos os dados do seu comportamento, os quais foram apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Estoque entre processos da simulação de verificação 2

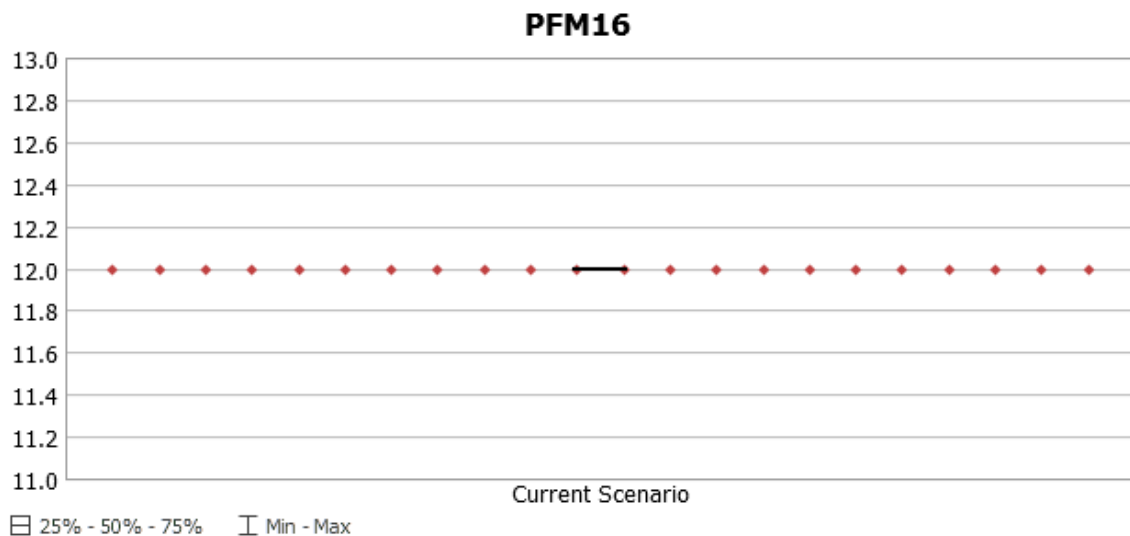
Peça	Estoque Médio	Quantidade Máxima em Estoque	Média do Tempo Máximo em Estoque
Haste central da base	44	44	21
Base do chão dianteira	10	10	43
Base do chão traseira	15	15	69
Passarinho esquerdo	5	6	1851
Passarinho direito	7	7	1630
Corpo do braço	41	43	1880
Haste do banco	24	25	51
Apoio do pé	14	14	76
Tubinho do batente	13	13	93
Base do simulador de remo	7	7	0
Braço do simulador de remo	0,0193	4	1158
Banco do simulador de remo	1	7	1856
Tube do simulador de remo	0,07	4	3219

Fonte: Própria

É possível verificar que os valores dos três aspectos analisados foram reduzidos em todos os produtos quando comparados com os obtidos nas simulações anteriores. Nota-se que a base do simulador de remo apresentou como tempo médio máximo em estoque o valor zero, o que significa que as peças não têm tempo de permanecer em estoque, uma vez que as demais peças que compõem o equipamento estão aguardando a que falta para serem utilizadas na formação do equipamento. Como o sistema simulado não está puxando a produção de acordo com os pedidos recebidos, mas sim de acordo com a produção e rotação dos lotes *Kanban*, é possível garantir que a falta dessa peça não atrapalha a demanda, uma vez que o sistema é capaz de produzir diariamente mais peças do que a demanda exige. Esse pode ser, portanto, considerado o ponto ótimo do sistema *Kanban* do equipamento analisado, uma vez que o estoque é mínimo e as peças permanecem estocadas o menor tempo possível.

O Gráfico 3 demonstra a produtividade de equipamentos que são formados e saem do sistema.

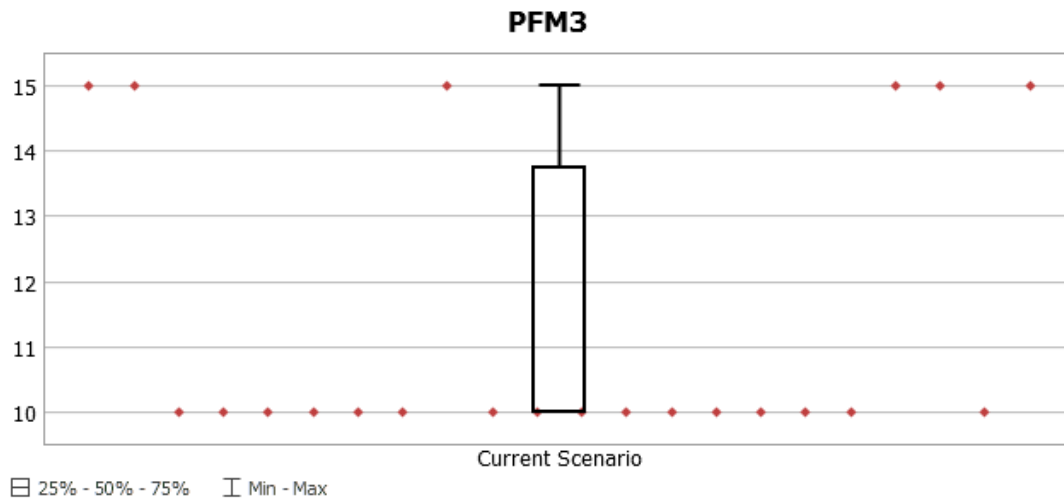
Gráfico 3: Equipamentos produzidos por mês na simulação final



Fonte: Própria (2016)

Nota-se que a capacidade produtiva do sistema, de 12 equipamentos por dia, é maior do que a demanda de 4. Quando comparado com a produtividade que o sistema apresentou em sua simulação de inicialização, cuja programação foi realizada de acordo com o dimensionamento do sistema *Kanban* real, apresentados no Gráfico 4, é possível verificar o quanto a produtividade se mostrou mais estável.

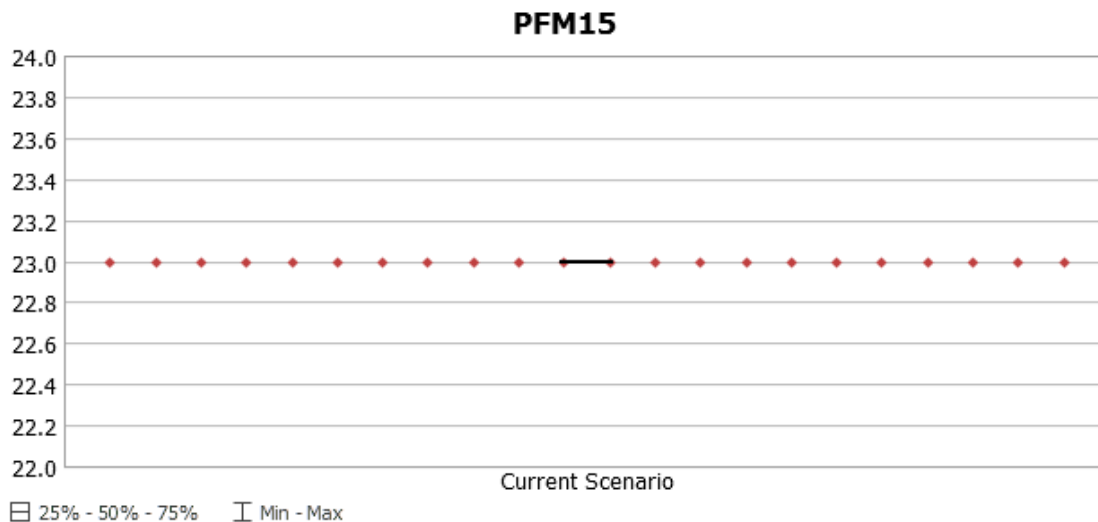
Gráfico 4: Equipamentos produzidos por mês na simulação de inicialização



Fonte: Própria (2016)

É possível constatar que antes do ajuste do sistema *Kanban*, a produtividade de equipamentos tinha uma variação de mais de 30%, além de ter na maior parte dos dias, um valor inferior ao obtido após esse ajuste. Essa estabilidade da capacidade produtiva também pode ser verificada no setor da solda, apresentada no Gráfico 5.

Gráfico 5: Produtividade da solda na simulação final



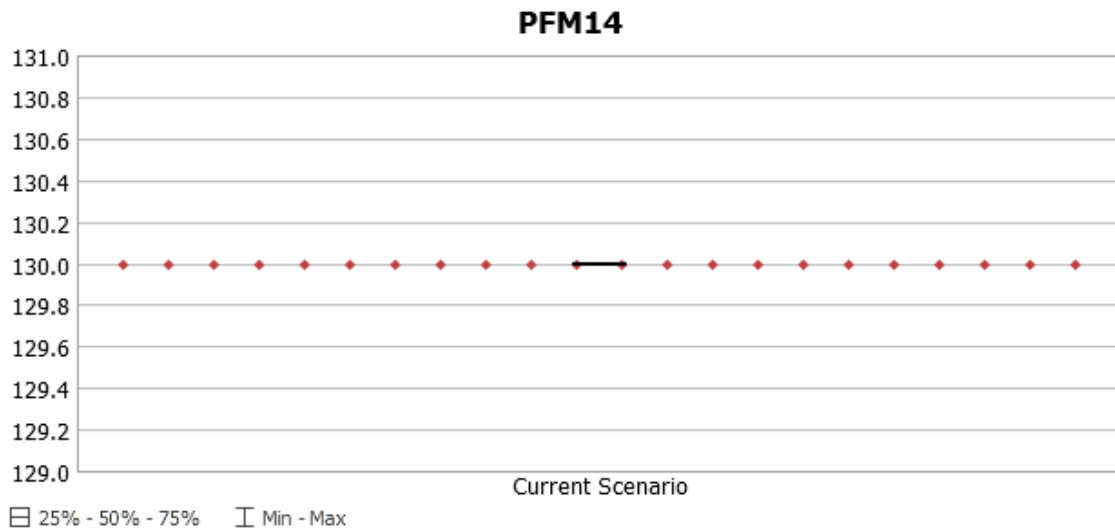
Fonte: Própria (2016)

Quando comparada a capacidade produtiva da solda após o ajuste do sistema *Kanban*, apresentada no Gráfico 5, com a apresentada no Gráfico 2, de antes do ajuste, é possível notar sua constância, apesar da diminuição de 2 peças. Essa estabilidade do sistema de produção demonstra a confiabilidade que ele apresenta, garantindo que a quantidade estipulada será a

produzida, o que, na verdade, é o que se espera de um sistema cujo controle da produção ocorre por meio dos cartões *Kanban*.

Comparando-se, também, a produtividade do setor da conformação após o ajuste do sistema *Kanban*, apresentada no Gráfico 6, com a apresentada no Gráfico 1, anterior ao ajuste, é possível verificar que a atual apresentou uma diminuição de quase 71% em relação à outra.

Gráfico 6: Produtividade da conformação na simulação final



Fonte: Própria (2016)

Essa redução da produtividade demonstra o quanto o sistema deixou de produzir peças que não seriam utilizadas e permaneceriam por muito tempo em estoque, sendo possível poupar essa capacidade para a produção de outros produtos, ou mesmo, permitindo a redução dos custos que essa produção desnecessária gera.

Cabe observar, que essa redução ocorreu pela diminuição do estoque das peças no almoxarifado, e não tem relação com a diminuição da capacidade produtiva, a qual permaneceu a mesma, mas não foi utilizada, justamente por não haver necessidade.

4.5 Análise e Discussão dos Resultados

O processo de ajuste do sistema *Kanban* do simulador de remo realizado no presente trabalho ocorreu através da execução de algumas simulações, tendo sido usados diferentes dimensionamentos para comparação e identificação do mais ajustado. A Tabela 20 abaixo

apresenta a evolução da quantidade de cartões *Kanban*, representada por N, e o tamanho dos lotes, Q, para cada produto, em todas as simulações efetuadas.

Tabela 20: Evolução do dimensionamento *Kanban*

Produto	Simulação de Inicialização		Simulação inicial		Simulação Secundária		Simulação de Verificação 1		Simulação de Verificação 2	
	N	Q	N	Q	N	Q	N	Q	N	Q
Haste central da base	3	24	5	24	6	24	7	17	4	17
Base do chão dianteira	3	25	2	11	2	11	2	8	2	5
Base do chão traseira	3	25	2	25	2	25	2	17	2	11
Passarinho esquerdo	3	25	2	10	2	10	2	7	2	5
Passarinho direito	3	25	2	10	2	10	2	7	2	5
Corpo do braço	3	24	8	24	7	24	8	17	5	17
Haste do banco	3	25	5	25	5	25	6	17	4	17
Apoio do pé	3	25	2	25	2	25	2	17	2	11
Tubinho do batente	3	25	2	10	2	10	2	10	2	10
Base do simulador de remo	3	5	6	5	6	5	4	7	3	7

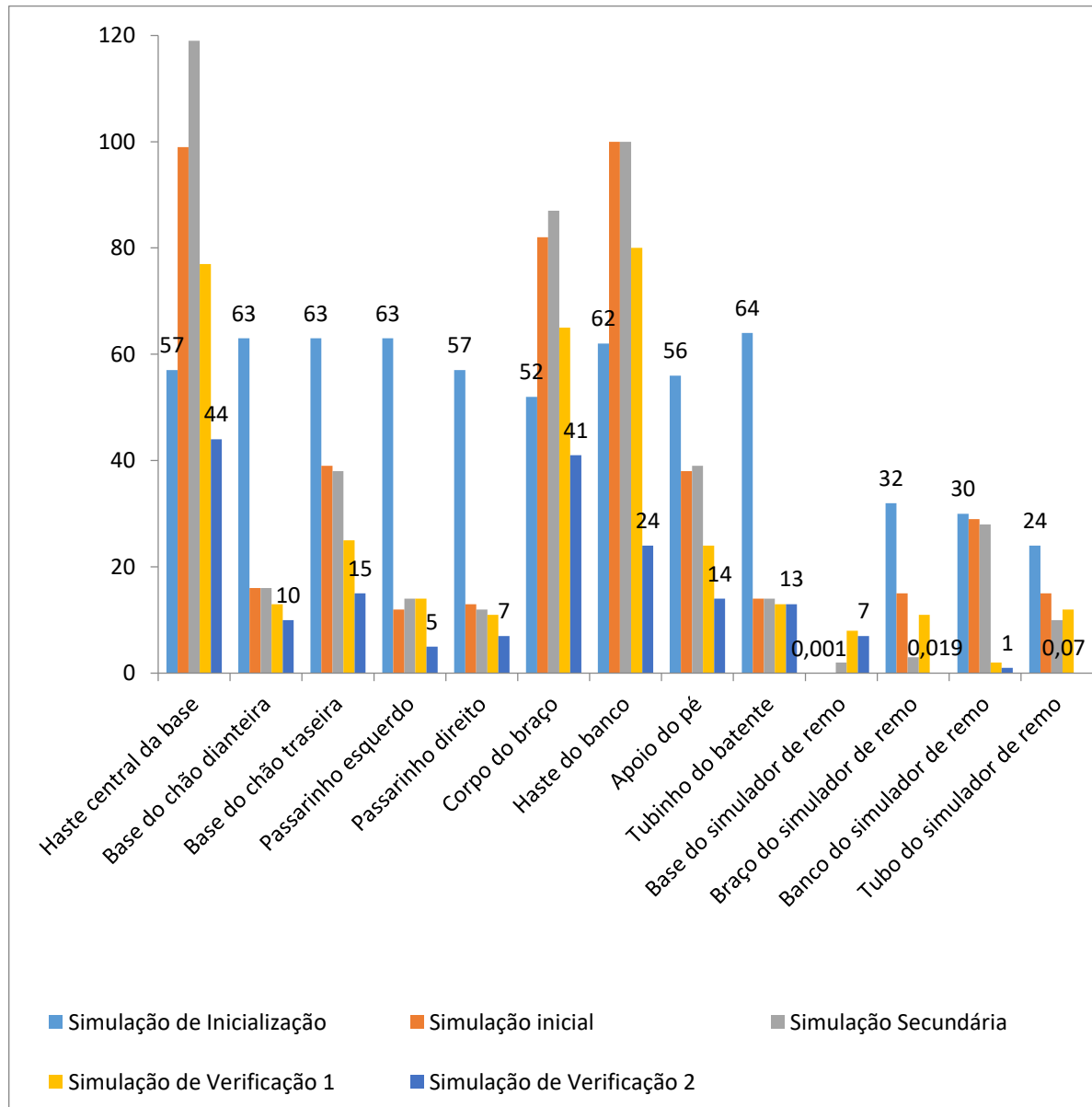
Braço do simulador de remo	3	17	2	17	2	10	2	7	2	4
Banco do simulador de remo	3	17	3	17	3	17	2	17	2	7
Tubo do simulador de remo	3	10	2	10	2	7	2	7	2	4

Fonte: Própria (2016)

A primeira simulação, cujo dimensionamento do sistema *Kanban* foi o utilizado no cenário real da empresa, demonstra a sua desatualização, quando comparada com a simulação seguinte, na qual foram utilizados os resultados dos primeiros cálculos do número de *kanbans* e tamanho dos lotes, obtidos a partir dos *lead times* dos processos encontrados. Essa simulação inicial, no entanto, revelou um potencial de ajuste, quando observado o desempenho dos estoques dos setores, assim como as próximas simulações, até atingir o dimensionamento da última, com valores que exprimiam estoques reduzidos, mas suficientes para atender a demanda.

O desempenho dos estoques pode ser observado no Gráfico 7, o qual apresenta as quantidades médias mensais em estoque de cada produto.

Gráfico 7: Evolução dos estoques intermediários médios



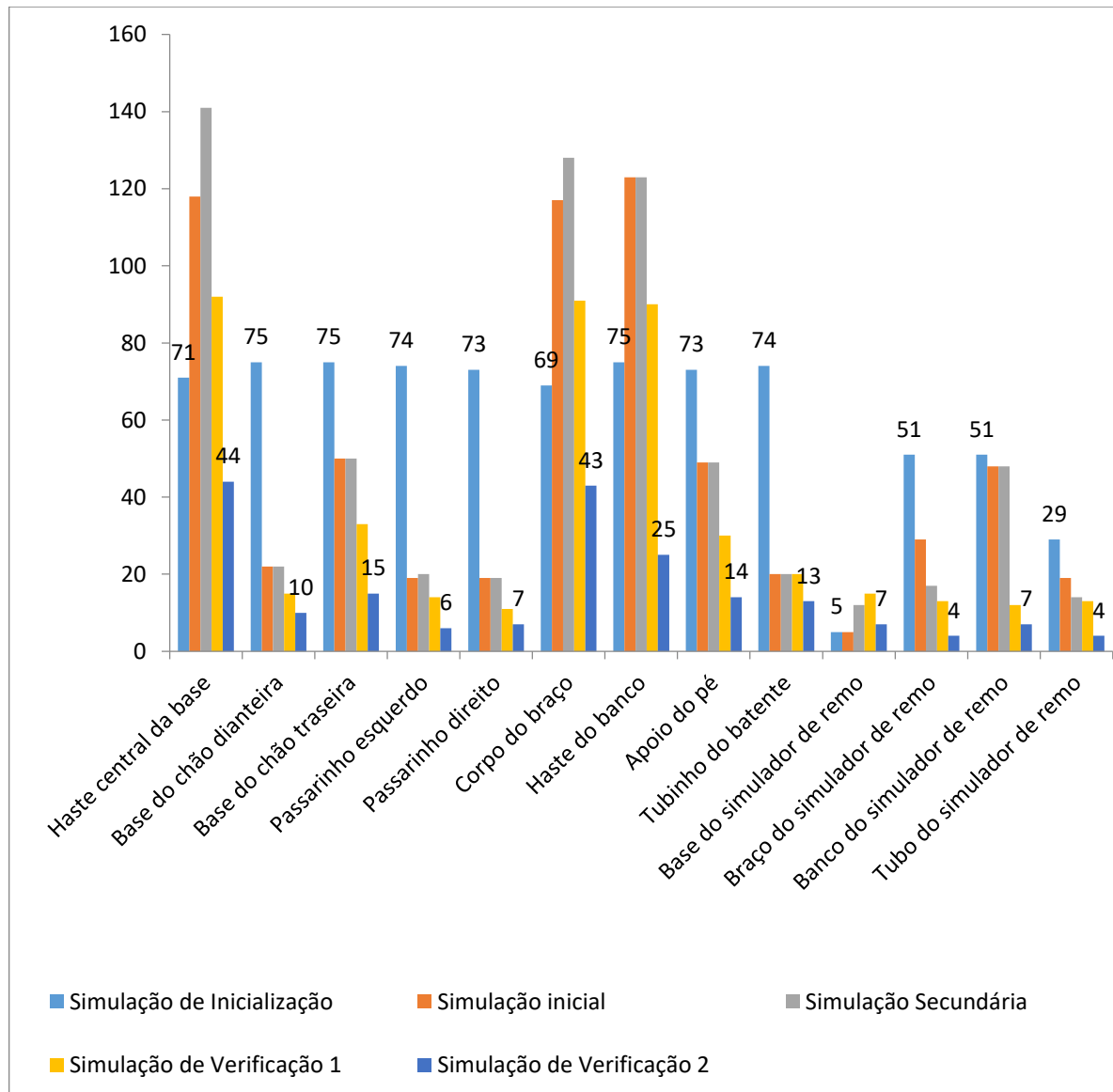
Fonte: Própria (2016)

Como é possível observar, a quantidade média em estoque da haste central da base, do corpo do braço, da haste do banco e da base do simulador de remo foi menor na simulação de inicialização do que nas duas seguintes, inicial e secundária, devido ao aumento do número de *kanbans* nos ajustes do dimensionamento do sistema desses produtos. A regressão desses estoques passou a ocorrer quando os tamanhos dos lotes *Kanban* dos produtos em questão foram reduzidos nos ajustes seguintes. Os demais produtos, cujo dimensionamento diminuiu logo no primeiro reajuste, seja pela redução do número de *kanbans* ou do tamanho dos lotes, apresentaram estoques médios encurtados nas próximas simulações. A última simulação

apresentou, para todos os produtos, com exceção da base, o menor estoque médio atingido, com uma redução de em média 75% entre a primeira e a última simulação. A base do simulador de remo foi o único produto que demonstrou um aumento do estoque médio entre a primeira e última simulação, justificado pela amplificação do seu dimensionamento, cujo tamanho do lote foi ampliado, de modo a diminuir a quantidade de cartões em relação às simulações anteriores.

De maneira semelhante ocorreu a evolução da quantidade máxima em estoque dos produtos, como apresentada no Gráfico 8.

Gráfico 8: Evolução das quantidades máximas em estoque

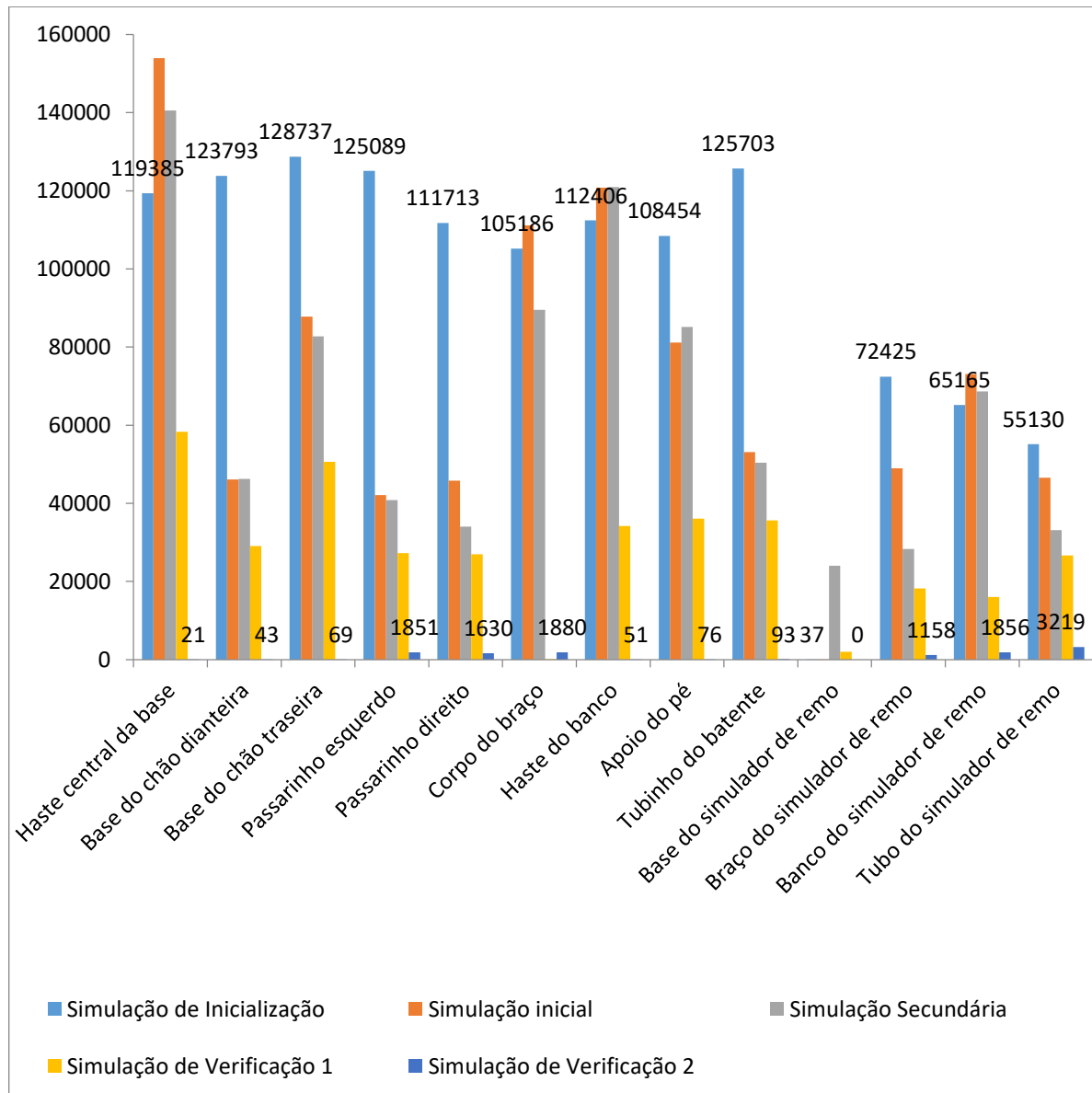


Fonte: Própria (2016)

Proporcionalmente, os aumentos e diminuições das quantidades máximas em estoque de cada produto, demonstradas no Gráfico 8, foram iguais aos estoques médios, apresentados no Gráfico 7. O interessante aqui é observar que, diferentemente da primeira simulação, cujos estoques máximos tinham valores próximos ou iguais à quantidade de todos os lotes *Kanban*, na última simulação, a quantidade máxima é de 1 lote a menos do que o máximo de lotes, em média de cada produto, enquanto que na primeira simulação esse valor era próximo de zero, ou seja, as quantidades máximas em estoque eram de todos os lotes do sistema *Kanban*. O benefício dessa diminuição se dá pela menor quantidade de produtos aguardando sua utilização, estando disponíveis quantidades inferiores, mas igualmente suficientes para sustentar a produção.

Também de maneira proporcionalmente semelhante se deu o desempenho da evolução dos tempos máximos em estoque das peças no decorrer das simulações e ajustes do sistema *Kanban*, como apresentado no Gráfico 9.

Gráfico 9: Evolução do tempo máximo em estoque



Fonte: Própria (2016)

É possível verificar, no gráfico 9, que os tempos máximos em estoque de todos os itens diminuíram no mínimo 94% entre a primeira e a última simulação, o que significa que os produtos aguardam tempos significativamente reduzidos da sua chegada ao estoque até a sua utilização no processo seguinte.

5 CONCLUSÃO

Objetivando a representação computacional do funcionamento da produção do simulador de remo, que ocorre sob o controle do sistema *Kanban* utilizado na empresa onde o presente trabalho foi realizado, a simulação no *software* FlexSim se revelou apta a reproduzir de maneira fiel esse cenário. Com comandos e propriedades que permitem a programação dos recursos, foi possível reproduzir o fluxo das atividades e controlar as quantidades de produtos em produção e em estoque de acordo com o dimensionamento do sistema *Kanban*, de modo a conduzir a produção através da programação do modelo, sendo que na prática, tal condução ocorre por meio da visualização, nos quadros *Kanban*, das necessidades de reposição de produtos.

A simulação do sistema também possibilitou a contagem do *lead time* de cada produto para a produção de um lote, considerando os tempos de *setup*, processamento e transporte até a entrada no estoque. Dessa maneira, foi possível calcular o número de cartões *Kanban* e tamanho dos lotes mais adequados para cada produto, segundo a filosofia JIT, ou seja, um dimensionamento que permita a redução dos estoques. Entre a simulação inicial, que retratou o cenário real da empresa, e a última simulação de verificação, a qual simulou o ajuste final do sistema *Kanban*, foi possível constatar uma redução média de 75% dos estoques entre processos dos setores da conformação e solda, e uma redução média de 98,8% do tempo máximo de espera em estoque dos produtos.

A comprovação dessa redução dos estoques entre processos demonstra o quanto de custo e trabalho desnecessários é gerado pela produção real da empresa, atestando a desatualização de seu sistema *Kanban*. Esse potencial de diminuição dos estoques, através do reajuste do número de *kanbans* e tamanho dos lotes, exprime a capacidade produtiva que pode ser poupada e utilizada em outros produtos, as despesas que podem ser reduzidas, ou a expansão do mercado, que seja compatível com a capacidade produtiva disponível.

A constante variação da demanda, ocasionada por fatores externos relacionados aos clientes, e a modificação da capacidade produtiva, provocada por alterações no chão de fábrica, como aumento ou redução de mão de obra, troca de maquinário, entre outros aspectos que a influenciam, ocorrem constantemente, e, por intervirem na produção e seu sistema *Kanban*, deve-se levar em consideração, que o seu reajuste seja realizado na mesma proporção em que elas sejam verificadas. Os resultados obtidos com a simulação evidenciaram a necessidade de

ajustar o sistema *Kanban* do equipamento simulador de remo, tendo em vista que um ano, período desde a última atualização do sistema, é tempo mais do que suficiente para que sejam constatadas essas variações.

Por permitir que sejam realizadas modificações no processo produtivo para experimentação de diferentes dimensionamentos, sem influenciar a produção no cenário real, a simulação computacional certifica a sua utilidade como ferramenta propícia para o ajuste do sistema *Kanban*. Entre suas vantagens, destacam-se a possibilidade de alterar as quantidades máximas em estoque, os tamanhos dos lotes e os tempos de processamento, os quais dependem dos tamanhos dos lotes, de acordo com a demanda prevista e sob os fatores de afetam a capacidade produtiva, verificando o comportamento da produção e os resultados obtidos com essas alterações, até encontrar o melhor dimensionamento, e permitindo que, quando este for aplicado na prática, suas chances de sucesso sejam praticamente garantidas.

Apesar de apresentar muitas vantagens, a simulação computacional é uma ferramenta complexa, que deve ser utilizada por profissionais que a dominem, além de ter um elevado custo de aquisição. No entanto, como evita prejuízos com experimentações mal sucedidas na prática e obtém resultados em curto prazo, uma vez que é possível simular um ano de produção em apenas alguns minutos de simulação, por exemplo, é preciso analisar e balancear seus benefícios e inconvenientes, baseados na real necessidade de alcance de resultados apurados antes de aplicações práticas, verificando os ganhos e perdas capazes de se obter utilizando-a ou não.

A observação da necessidade do reajuste do sistema *Kanban* de um equipamento produzido pela empresa, e a verificação da capacidade de realiza-lo eficazmente através da simulação computacional, demonstra a possibilidade de ampliação desse trabalho para os demais produtos presentes no portfólio da empresa, tendo em vista que, para todos foram reajustados o sistema *Kanban* pela última vez há mais de um ano, sendo, portanto, presumidas alterações de sua demanda e capacidade produtiva. Pressupõe-se, também, que a simulação simultânea de todos os produtos permite uma representação computacional ainda mais fiel à realidade, viabilizando o alcance de resultados cada vez mais satisfatórios.

6 REFERÊNCIAS

- ANTONELLI, G. C., SABADIN, A., NETO, J. B. S. S., CARREIRA, S. S., CARREIRA, M.F. **Análise dos resultados da modelagem para simulação dinâmica de atendimento para serviços de assistência técnica em equipamentos de automação bancária - uso do software arena®: estudo de caso.** XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014.
- ARBACHE, F. S.; SANTOS, A. G.; MONTENEGRO C.; SALLES W. F. **Gestão de Logística, Distribuição e Trade Marketing.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2006.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos.** Ed. Da UFSC. Florianópolis, 2006.
- BEAVERSTOCK, M.; GREENWOOD, A.; LAVERY, E.; NORDGREN, W. **Applied Simulation Modeling and Analysis using FlexSim 6.0.** 4ª ed. FlexSim Software Products, Inc., Canyon Park Technology Center, 2012.
- CASTANHARO, M., CAMPOS, R. **Desenvolvimento de um cenário e uso de um software de simulação em visando o ensino em gestão da produção.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.
- CELANI, C. K. P. B., MACHADO, T. S., MUNIZ, D. D. **Gestão de estoques e seus efeitos nos custos: uma pesquisa sob a ótica JIT.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.
- CHIAVENATO, I. **Iniciação à administração dos materiais.** São Paulo: Makron, 1991.
- CHIAVENATO, I. **Administração nos novos tempos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- CHUNG, Christopher A. *Simulation modeling handbook: a practical approach.* Florida: CRC Press, 2004. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=JhV6Ry6UMDQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Simulation+modeling+handbook:+a+practical+approach&ots=JiWxmR40Ql&sig=M-DgILKpZuutPenAj3NpWKaxGA#v=onepage&q=Simulation%20modeling%20handbook%3A%20a%20practical%20approach&f=false>>. Acesso em: 15 de maio de 2016.
- DANNI, T. S. **Ajuste e estudo do Sistema Kanban auxiliado pela simulação computacional.** Dissertação de Mestrado, engenharia de Produção, UFSC, Junho 1997.
- DANNI, T. S., TUBINO, D. F. **Ajuste dinâmico do número de Kanbans de um sistema produtivo JIT através da simulação.** XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1997.
- FACÓ, J. F. B., GIBSON, D. C. S., ESTIMA, M. R. C., MEGLIORINI, E. **Falta de matéria-prima em um sistema Just in Time: Análise no setor metalúrgico.** XXI Simpósio de Engenharia de Produção, 2014.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

GUIMARAES, I. F. G., PRAZERES, I.P. **Utilização da simulação computacional como ferramenta para gestão de pronto atendimentos hospitalares.** XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014

HARRELL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation using ProModel.* Boston McGraw-Hill, 2000.

HOLANDA, A. A. L., ALBUQUERQUE, A. S., BATISTA JUNIOR, F. M. M., TAVARES, D. M., SANTOS, Y. B. I. **Pesquisa operacional na otimização do processo produtivo de uma empresa de recarga e manutenção de extintores de incêndio em Belém.** XXII Simpósio de Engenharia de Produção, 2015.

HORNBURG, S.; TUBINO, D. F., LADEIRA, N. E., THONERN, A., & RIFFEL, L. F. et al. **A programação da produção puxada pelo cliente: estudo de caso na Indústria Têxtil.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep), v. 28, 2008.

JUNIOR, L. C. GOMIERO, JUNIOR, E. REAME. **Uma revisão bibliográfica sobre as ferramentas utilizadas pelo sistema Just in Time.** Interface 5.1-2008.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional: Na tomada de decisões.** 4ª edição. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2009.

LAGE JUNIOR, M., GODINHO FILHO, M. **Adaptações ao sistema kanban: revisão, classificação, análise e avaliação.** Gestão e Produção, São Carlos, v. 15, n. 1, abr. 2008.

LEMOS, Ana Carina Dri. **Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional.** 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

LIMA, D., MARCATO, R. D. **Otimização do layout produtivo através de simulação computacional em uma empresa do setor moveleiro.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.

LAW, Averill M. *Simulation Modeling & Analysis.* 4. ed. Boston: Ed. McGraw-Hill, 2007.

MACHADO, V. F. M., CAMPOS, L. B. B. C., OLIVEIRA, N. C., PUGAS, P. G. O. P, **Lojas in company: futuro promissor nas grandes empresas.** XXII Simpósio de Engenharia de Produção, 2015.

MOTA, R. M. B.; VITAL, P. K. R. **Aplicação do sistema Just in Time: microempresa de transportes e mudanças.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.

MOURA, M. F. P., TORRES, E. F., SOUSA, F. L., PINTO, L. A. **Otimização dos processos produtivos em uma cooperativa agroindustrial.** XX Simpósio de Engenharia de Produção, 2013.

OLIVEIRA, R. V. **A lei de Sarbanes-Oxley como nova motivação para mapeamento de processos nas organizações.** XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção (Operações industriais e de serviço)**. Unicenp, 2007.

PEREIRA, M. M., DANTAS, M. J. **Aplicação e simulação nos sistemas de filas M_M_S - entendendo a natureza da simulação**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.

PERGHER, I., SILVA, L. A., PACHECO, D. A. J., VACCARO, G. L. R. **Análise do impacto da variabilidade de fluxo no dimensionamento de kanbans**. Revista Produção Online 14.1, p. 115-142, 2014.

RIBEIRO, P. D. **Kanban: resultados de uma implantação bem sucedida**. 5. Ed. Rio de Janeiro: COP Editora, 1989.

SANTOS, A. M., SILVA, M. S., NERI, L. P., ALMEIDA, K. F., SOUZA, T. F. **Balanceamento de uma linha de produção de caixa de som utilizando cronoanálise e simulação**. XXII Simpósio de Engenharia de Produção, 2015.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção: do ponto de vista de engenharia de produção**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILA, C. V. P., FERREIRA, G. K. M., SOUSA, J. P. G. M., XAVIER, N. G. **A influência do layout na gestão organizacional**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.

SILVA, M. V. L., KALIL, F. A., ARAÚJO, A. V. S., ANDRADE, W. M., **Aplicação de modelagem e simulação de eventos discretos como ferramenta de análise de variáveis na implementação de um sistema kanban: um estudo de caso**. XX Simpósio de Engenharia de Produção, 2013.

SILVA, T. M. F., SANTOS, L. C. **Análise de alternativas para a implantação de um sistema puxado de produção no setor de acabamento de uma indústria têxtil**. XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014.

SHANKAR, R. **Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide**. Milwaukee: ASQ, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2ª Edição, São Paulo, Atlas, 2002.

TUBINO, D. F., LEMOS, A. C. D. **Aplicação de uma metodologia de ajuste do sistema kanban em um caso real utilizando a simulação computacional**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção 19, 1999.

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR CEP 87020-900
Tel: (044) 3011-4196/3011-5833 Fax: (044) 3011-4196