



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

ASSOCIAÇÃO DE POLITÉCNICOS DO NORTE (APNOR)
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Otimização do Sistema *Kanban* Através de Simulação Discreta

Amanda Santos da Costa

Dissertação Final submetido pelo *Instituto Politécnico de Bragança*

Para obtenção do título de Mestre em Gestão das Organizações, Especialização
em Gestão de Empresas

Orientadores:

António Duarte

Paulo Melo

Bragança, outubro, 2019.



ASSOCIAÇÃO DE POLITÉCNICOS DO NORTE (APNOR)
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Otimização do Sistema *Kanban* Através de Simulação Discreta

Amanda Santos da Costa

Orientadores:

António Duarte

Paulo Melo

Bragança, outubro, 2019.

Abstract

The Kanban production control system was formalized by Taiichi Ohno and applied for the first time in Toyota Production System (TPS) in the end 1940s, with purpose of reducing costs in process and reducing inventory, with more organization and gain time, avoiding waste with stationary productions. The Kanban System work with visual identifications cards at the stock level, where the employee dos not need to waste time analyzing whether or not the manufacturing orders to be processed visible.

Discrete simulation is like a diagnostic tool for identifying problems and inefficiencies in the organization. By means of the simulation, it is possible to test and analyze different scenarios, to verify the impact that will occur in the system and to evaluate the return before even making the changes or planning of the transformation of business (Almeida, 2015).

In this work, the implementation, through simulation, of a set of interconnects production and inventory level, work in process (WIP) using the Kanban system. The objectives are to develop a tool capable of optimizing Kanban operation, verifying the influence of several parameters on the system and performance. The tool can also be used in a learning context to demonstrate the operating principles of the Kanban system.

In the software, Simio has developed a production model with three different products and lines which use the Kanban card depending on customer demand, the processing time, the process for the Kanban and their output. In addition, the results found in the scenario changes to know in which model the process behaves better, alternating the number of Kanban cards and processing time.

Keywords: System pull, discrete simulation, software, Kanban, production control

Resumo

O sistema de controlo de produção *Kanban* foi formalizado por Taiichi Ohno e aplicado pela primeira vez no Sistema Toyota de Produção (STP), no final da década de 40, tendo como propósito a diminuição dos custos no processamento e redução do estoque, gerando organização e ganho de tempo, evitando desperdícios com produtos parados. O Sistema *Kanban* funciona com cartões de identificação visual do nível de estoques, onde o funcionário não precisa perder tempo analisando se há falta ou não de um material tornando visíveis as ordens de fabricação a serem processadas.

A simulação discreta funciona como uma ferramenta de diagnóstico para a identificação de problemas e ineficiências na organização. Por meio da simulação é possível testar e analisar diferentes cenários, para verificar o impacto que ocorrerá nos sistemas e avaliar o retorno antes mesmo de realizar as mudanças ou planejar a implementação da transformação do negócio (Almeida, 2015).

Neste trabalho é feita a implementação, via simulação, de um conjunto de operações de produção interligadas, controlando a produção e os níveis de inventário em curso (WIP) com recurso ao sistema *kanban*. O objetivo é desenvolver uma ferramenta capaz de otimizar o funcionamento do *kanban*, verificando a influência de vários parâmetros sobre o sistema e o seu desempenho. A ferramenta pode também ser utilizada em contexto de aprendizagem para demonstrar os princípios de funcionamento do sistema *kanban*.

No software Simio foi desenvolvido um modelo de produção com três produtos e linhas diferentes as quais utilizam o cartão *kanban* a depender da demanda do cliente. Para isso, foram necessários determinar a demanda, o tempo de processamento, os processos para o *kanban* e saída dos mesmos. Além disso, os resultados encontrados nas mudanças de cenários para saber em qual modelo o processo se comporta de forma melhor, alternado a quantidade de cartões *kanban* e o tempo de processamento.

Palavras-chave: Sistema puxado, simulação discreta, software, *Kanban*, controlo de produção

Aos meus queridos pais.

Agradecimentos

A realização deste trabalho e da conclusão deste curso só foi possível graças ao apoio e incentivo de algumas pessoas, das quais desejo expressar o mais profundo agradecimento e gratidão.

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus orientadores António Duarte e Paulo Melo, além da coordenadora Paula Odete, pelas disponibilidades e compreensão dos momentos que passamos.

Não podemos esquecer também do reconhecimento ao programa de Dupla-Diplomação das escolas, a Universidade de Salvador por me proporcionar esta enriquecedora experiência e ao Instituto Politécnico de Bragança por me acolherem da melhor forma possível.

Gostaria também de agradecer as pessoas que fizeram desta oportunidade uma das minhas melhores fases da vida, aos meus pais Daniela e Marcelo, parentes e amigos os quais me deram forças para seguir em frente e ao Fernando pela paciência e pelo amor envolvido.

Também deixo os meus agradecimentos a todos aqueles envolvidos que não foram citados, mas que diretamente ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui. A estes o meu mais profundo e sincero agradecimento.

Índice

Lista de Figuras	viii
Introdução	1
1. Revisão de Literatura.....	3
1.1. Sistema Toyota de Produção	3
1.2. Filosofia <i>Just in time</i>	5
1.3. Metodologia <i>Kanban</i>	8
1.4. Aplicação de Simulação	12
1.4.1. Tipos de Simulação.....	13
1.4.2. Terminologias de Simulação	14
1.4.3. Vantagens e Desvantagens da Simulação	15
1.5. Software Arena	15
1.6. Software Simio.....	16
2. Metodologia de Pesquisa	20
2.1. Objetivo de estudo e hipótese de pesquisa	20
2.2. Descrição da Coleta dos Dados	21
2.3. Descrição e Análise dos Dados.....	21
3. Apresentação e Análise dos Resultados	23
3.1. Modelo Inicial.....	23
3.2. Modelo de Simulação Complexa	26
3.3. Análise das experiências.....	28
3.4. Resultados.....	31
Conclusões, Limitações e Futuras Linhas de Pesquisa	35
Referências	37

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura do modelo Sistema Toyota de Produção.	5
Figura 2. Demonstração do funcionamento do sistema <i>Kanban</i>	9
Figura 3. Tipo de cartões <i>kanban</i>	10
Figura 4. Janela principal do Simio.....	17
Figura 5. Modelo inicial simples.....	24
Figura 6. Representação do modelo com cliente.	25
Figura 7. Representação do modelo complexo.....	27
Figura 8. <i>workstation</i> 2, 3 e 4.	29
Figura 9. <i>workstation</i> 6 e 7 e material A.....	30
Figura 10. Material B e C e <i>responses</i>	30
Figura 11. Resultados dos parâmetros.	31
Figura 12. Gráfico de espera dos clientes.....	32
Figura 13. Resultado da análise do W3.....	33
Figura 14. Resultado da análise W4.....	34

Introdução

A revolução industrial iniciada em meados do século XVIII, na Inglaterra, trouxe grandes mudanças à sociedade, sendo um marco decisivo na história, revolucionando o modo de produção da época, pois até então, se vivia da produção artesanal, que deram lugar para a utilização das máquinas à vapor (Dantas, 2016). Para acompanhar este ritmo condizente com a evolução do mercado e dos clientes, as indústrias foram adaptando e moldando-se, sendo assim modificando a forma de produção e de atendimento dos consumidores de forma mais rápida, direta e com mais conforto.

Com estas finalidades, as indústrias viram-se em um novo mundo onde tiveram que melhorar o desempenho dos processos, remontar e criar diferentes formas de processar, ou seja, utilizar-se da reengenharia para atingir os desejos dos clientes de uma forma que também fosse eficiente para as organizações. Com isso focando-se em redução de estoques intermediários com auxílio de ferramentas para a colaboração deste controle.

O sistema *Kanban*, o qual controla a quantidade de estoques a depender do número de pedidos que vem no mercado, é uma destas ferramentas. Este sistema foi desenvolvido de forma que as organizações trabalhem com o sistema *pull* - quando a produção é realizada apenas depois do pedido ser feito, com finalidade de reduzir o desperdício de materiais e dos estoques, produzindo assim apenas o que for utilizado na cadeia final do consumidor.

Para auxiliar o desenvolvimento e mudanças nos processos sem interferir na produção é utilizado sistema de simulação, o qual é imputado todos os dados do processo, tornando-se uma cópia real do que é realizado. A simulação tem vindo ao longo dos tempos a contribuir para a análise e compreensão de sistemas complexos. Normalmente utilizada e divulgada na indústria e com resultados muito próximo ao que acontece na realidade, assim a simulação, com o início da gestão de processos de negócio, passou a ter também aqui, um campo de aplicação (Oliveira, 2008).

O trabalho tem como questão de pesquisa como demonstrar o sistema *kanban* em um processo através de um software de simulação discreta. A ferramenta pode também ser utilizada em contexto de aprendizagem para demonstrar os princípios de funcionamento do sistema *kanban*.

Assim, o trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de simulação para demonstrar a aplicação do sistema *Kanban* em um simulador de software. Para atender os quesitos acima serão realizadas:

- a) Revisão de literatura do sistema *Kanban*, sua origem e aplicações,
- b) Compreender a importância do simulador para aplicação de mudanças em um processo,

- c) Aplicar a metodologia no software e demonstrar de que maneira o sistema *kanban* é representado no software Simio.

O presente trabalho justifica-se pelo fato da dificuldade em encontrar na literatura aplicação do sistema *kanban* em um simulador de software com objetivo de visualizar e compreender como este sistema funciona.

O trabalho será dividido em três secções. Na primeira secção será realizada uma revisão de literatura apontando os conceitos e surgimento da metodologia do sistema *Kanban*, métodos e identificação de pontos para realizar um sistema enxuto, abordar sobre o processo de simulação e seus pontos fortes e fracos, além de mencionar o software escolhido para realizar a simulação, no caso o simulador Simio.

A segunda secção demonstrará a metodologia que foi aplicada para realização do trabalho para compreender melhor como foram alcançados os resultados obtidos no trabalho.

A terceira, e última secção, abordará sobre os resultados alcançados no software Simio, realizará as simulações com diferentes cenários para obter o melhor caminho para otimizar o processo e demonstrar suas melhorias. E por fim, a validação se a aplicação do sistema *Kanban* é eficiente ou não, e como as indústrias e/ou outros processos podem adotar esta ferramenta e utilizá-la como um diferencial competitivo dentro do mercado.

1. Revisão de Literatura

O primeiro capítulo do trabalho tem como objetivo a demonstração, o apontamento e a descrição dos conceitos e o que já existe na literatura a fim de basear e orientar os objetivos propostos nesta tese. Para esse fim, foram encontrados na literatura origem do sistema utilizado no trabalho – *Kanban*. Será demonstrado o seu surgimento pós segunda guerra mundial com a evolução do setor automobilístico com o Sistema Toyota de Produção, aprimoramento das técnicas de melhoria contínua e redução de defeitos.

Da mesma forma serão apresentados os tipos de simulação, os softwares de simulação, as vantagens e desvantagens de simular processos e a escolha do software Simio para o desenvolvimento desta tese.

1.1. Sistema Toyota de Produção

Durante a evolução do setor automobilístico com suas novas formas de aprimoramento dos processos, a redução de desperdícios de tempo e o intuito de aumentar a eficiência das montadoras, além de Henry Ford com seu trabalho em sequência e de produção em massa, Eiji Toyoda também revolucionou a forma de produzir os carros. Toyoda trabalhava em sua empresa e juntamente com seu engenheiro, Taiichi Ohno desenvolveram o Sistema Toyota de Produção (STP). De acordo com Ohno (1997, citado por Justa & Barreiros, 2009) o mercado japonês demandava alta qualidade, baixo custo, *lead time* reduzido e flexibilidade.

Toyoda realizou visitas nas montadoras americanas para verificar como elas trabalhavam e como os processos eram realizados para atender a demanda do mercado japonês. Com isso, os engenheiros observaram que haviam grandes equipamentos produzindo grandes quantidades de produtos e formando muitos estoques causando acúmulo nos estoques intermediários (estoques produzidos entre um processo e outro), devido ao excesso de produção e defeitos ocultos em grandes lotes, o quais estavam acumulados por semanas. (Justa & Barreiros, 2009).

Porém a montadora Toyota, precisando fabricar pequenos volumes de modelos diferentes usando a mesma linha de montagem, não poderia adaptar ao sistema de grandes quantidades de um número limitado de modelos, ou seja, não poderia usar o sistema de produção em massa como o da Ford (Liker,, 2005). Isto é, mesmo com toda esta pesquisa ele percebeu que não poderia aplicar o modelo americano no Japão visto que a demanda de seus clientes era diferente, assim teve que adaptar o modelo para sua realidade.

Logo após esta percepção, as conclusões de Toyoda foram a identificação do que hoje chamamos de sete desperdícios, o que devem ser extintos ou ao menos reduzidos na produção. (Picchi, 2017 citado por Ramos & Sato, 2018) São eles:

- a) Produção em excesso – decorre quando a empresa produz mais do que é consumido pelo mercado, gerando estoques e perda de recursos que poderiam estar alocados em produções consideradas críticas;
- b) Tempo de espera – quando a máquina fica parada a espera do próximo processo, ou o operário esperando a próxima etapa para dar continuidade a uma atividade, traduz em um processo não balanceado, prejudicando o fluxo de informações e materiais, além disso podem ser avarias nos equipamentos ou outras eventualidades;
- c) Processamento desnecessário – movimentos ou atividades que não são necessários na produção, são atividades que não agregam valor ao produto;
- d) Estoque – são produtos em excesso, podem ser matérias-primas, produtos acabados ou em processamento;
- e) Transporte – são movimentos desnecessários entre produtos ou processos o qual pode aumentar o atraso da produção, exemplos disso podem ser *layouts* mal elaborados ou rotas mal elaboradas;
- f) Movimentação – este quesito está ligado a movimentações desnecessárias pelos funcionários;
- g) Correção – também conhecida como retrabalhos, como o próprio nome diz, é fazer de novo algum processo pois o mesmo não foi bem realizado antes, este procedimento também acarreta em atividades que não agregam valor ao produto, mas são necessários para o processo.

Para além destes desperdícios citados existe um oitavo desperdício, muito evidente com a globalização e a humanização das empresas que é o desperdício da criatividade dos funcionários, que pode ser resumido como a perda de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem pelo fato de a organização não envolver, comprometer e ouvir seus funcionários em relação ao processo produtivo. (Liker, 2005)

Com estas evidências de Toyoda, as organizações passaram a adotar processos mais enxutos para reduzir estes pontos e obter mais eficiência e produtividade nos processos. Ghinato (2000, citado por Ricci, 2013) apresenta a estrutura do modelo Sistema Toyota de Produção, representado na figura 1,

com seus dois pilares de sustentação, que são o *Just in Time* e a automação (também conhecido como *Jidoka*), junto com os outros componentes importantes ao sistema.

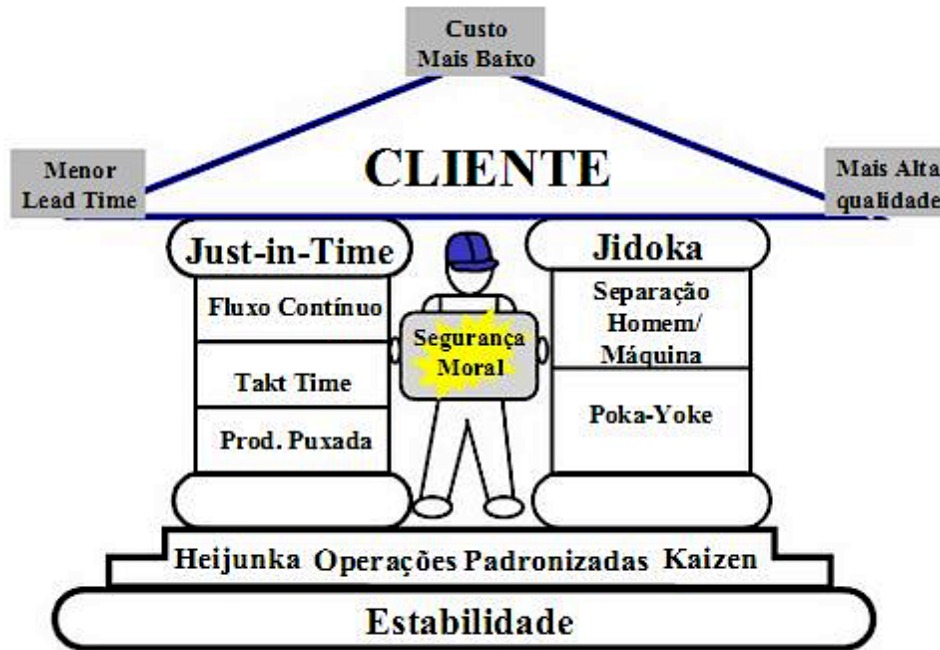


Figura 1. Estrutura do modelo Sistema Toyota de Produção.

Fonte: Ghinato, citado por Ricci, 2013

Além dos pilares está destacado no triângulo a redução do *lead time* - tempo de processamento de um produto, custos mais baixos e uma qualidade mais alta, visto que os processos serão mais estáveis.

A produção enxuta ou também conhecido como a filosofia *Lean*, evidencia as conclusões de Toyoda remodelando processos, reduzindo espaços entre processos, modificando *layouts*, estudando melhor a demanda do mercado. Este último ponto traz o sistema *pull* (sistema puxado, quando o mercado faz o pedido e depois a empresa produz o produto) e a filosofia do *just in time* (JIT), que possui com objetivo de identificar, localizar e eliminar as perdas garantindo o fluxo da produção (Ricci, 2013) . Este ponto será relatado.

1.2. Filosofia *Just in time*

A filosofia *just in time* (JIT), segundo Lopes (2010, citado por Devatz & Herculani 2017), compreende que o princípio básico do JIT é atender de maneira rápida e flexível a flutuação da demanda do mercado,

realizando a produção em pequenos lotes e intercalando a produção dos produtos para que não falte nenhum produto e nem que estes fiquem com estoques altos.

Ainda segundo autor acima, o método JIT é conhecido como sistema de “puxar”, ou seja, os processos subsequentes recolhem as peças junto aos processos precedentes. Apenas a linha de montagem final é capaz de conhecer de modo preciso o ritmo e quantidade de peças que serão necessárias. A linha de montagem final se dirige até o processo precedente para obter as peças na quantidade e no momento necessário para a montagem do bem ou produto.

Com o encadeamento do sistema, o processo precedente produz as peças retiradas pelo processo subsequente e conseqüentemente, cada processo produtor de peças retira estas peças ou materiais necessários junto aos processos precedentes ao longo da linha. (Monden, 2015 citado por Devatz & Herculani, 2017).

No processo JIT à medida que os produtos são vendidos, estes são fabricados. É o conceito de abastecimento e de reabastecimento do pulmão - é entendido, nesse caso, como um "estoque de segurança". Como a proteção ao estoque é menor do que em uma indústria sem esta filosofia, qualquer falta de material é vital para o processo de fabricação no sistema JIT correndo o risco de a linha de produção parar. Mas, dado que o estoque é menor, a capacidade de diversificar a linha de produtos é maior. Com isso, as vendas futuras aumentam, em função de um maior grau de competitividade no mercado. Diversificação da linha de produção implica flexibilidade. (Plantullo, 1994).

A eliminação das perdas é um ponto importante para a obtenção de sucesso no JIT. Para que esse sucesso seja alcançado utiliza-se as ferramentas de chão-de-fábrica que dão suporte ao sistema JIT, tais como (Lemos, 1999):

- a) A organização da área de trabalho - O tempo utilizado para procurar ferramentas, utensílios, instruções e peças adicionam um grande esforço e tempo na realização da tarefa. Deixando a área de estoque e material necessário perto do local de uso, as perdas serão drasticamente reduzidas;
- b) Redução dos tempos de *setup* – bem parecido com o anterior, pois quanto mais organizado deixar os materiais para a realização do *setup* e tudo ao alcance das mãos mais rapidamente será esta troca, por isso a existência do termo troca rápida;
- c) Manufatura celular - definida como um grupo de processos para que os produtos sejam produzidos em um fluxo através do sistema. Em uma célula, processos são fisicamente localizados perto um dos outros, fazendo com que a movimentação de materiais e áreas em estoque sejam minimizadas entrando na redução dos desperdícios de movimentação mencionado;
- d) Produção puxada - prevê que cada elo da cadeia produtiva só deve iniciar a produção de um determinado lote quando houver um real consumo desse lote pelo processo seguinte da cadeia

produtiva. Sob a perspectiva interna da empresa, o ponto de partida do ciclo de produção é a expedição;

- e) Balanceamento da produção - consiste em planejar a produção de pequenos lotes, com objetivo de flexibilizar a produção permitindo um rápido atendimento ao mercado consumidor com estoques reduzidos.

O ato de realizar o balanceamento traz maior fluidez ao processo e seus estoques, analisar-se-á melhor este ponto na próxima secção.

1.2.1 Nivelamento e Balanceamento da Produção

Segundo Lemos (1999), o balanceamento da produção consiste em planejar a produção de pequenos lotes, diferentemente da produção convencional que visa produzir grandes lotes, e variados acompanhando a demanda.

De acordo com Shingo, (1996, citado por Lemos, 1999), há três maneiras de balancear quantidades:

- a) Padronizar (balancear) processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais alta.
- b) Padronizar processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais baixa.
- c) Equilibrar quantidades de produção no nível necessário para que satisfaçam as exigências determinadas pelos pedidos.

Este último ponto discorre as características da filosofia *Just in time*, uma vez que depende dos pedidos realizados pelo mercado e por ser em produzido em lotes.

Já o nivelamento é uma técnica muito desenvolvida pela Toyota a fim de eliminar os desperdícios, porém não é um conceito que deve ser aplicado isoladamente na linha de produção, é necessário que a companhia repense a maneira de comprar produtos dos fornecedores, como projetar as máquinas e ferramentas, como desenvolver seus processos de trabalho e suas equipes. O conceito de nivelar a produção direciona a criação de processos flexíveis (Bezerra, 2008).

Os pontos negativos da não nivelção da produção são diversos. Alguns deles são: uso de recursos desequilibrados - em muitas empresas a mão-de-obra não é multifuncional assim, quando não existe o nivelamento ocorre o fenômeno da falta e sobra de atividades para os diferentes operadores de modo a existir um excesso de trabalho em determinados períodos e ociosidade em outros; demanda desnivelada dos processos - se houver um mudança de pedidos do cliente será necessário uma modificação dos pedidos do fornecedor, e pelo processamento ser em grandes lotes será muito mais difícil do fornecedor atender a essa mudança. Quando isto ocorre nas empresas que não trabalham com nivelamento nem com conceito de supermercados, essa flutuação é transmitida para as

organizações uma maneira muito mais drástica, fenômeno este mais conhecido como efeito chicote (Bezerra, 2008).

Para auxiliar este processo de nivelamento e para que fique definido quais peças e a quantidade de cada uma a ser pega em cada processo precedente, é utilizado uma ferramenta com cartões, o qual aponta todas estas informações não deixando que nenhum produto fique elaborado de forma incorreta ou faltando. Esta ferramenta é o *Kanban*, a qual será descrita na seção 1.3.

1.3. Metodologia *Kanban*

O sistema de produção puxada, ou sistema *pull* como também é chamado, tem por objetivo utilizar de maneira mais racional possível os recursos produtivos disponíveis, de tal forma que o fluxo produtivo, e não as capacidades individuais, seja maximizado (Lemos, 1999). Este tipo de produção presume que cada processo apenas deve iniciar a produção do próximo conjunto quando o processo sucessor tenha consumido todo o lote da cadeia produtiva.

Os cartões *Kanbans* são utilizados para puxar a produção, só sendo requisitados os recursos para a produção no momento em que for dada a ordem para produção, conseqüentemente evitando o desperdício. Com isso são utilizados cartões, podendo ser físico ou virtuais, para controle da produção normalmente com cores distintas - verde, amarelo e vermelho - indicando se não é preciso produzir, se a produção está com fluxo bom, ou se é preciso se produzir mais para atender o próximo processo. (Alvarez 2001, citado por Thielmann, Rodrigues, Lima, & Paiva, 2015,)

O Sistema *Kanban* foi elaborado pelo Taiichi Ohno e aplicado pela primeira vez no Sistema Toyota de Produção (STP), no final da década de 40, tendo como propósito a diminuição dos custos no processamento e redução do estoque, gerando organização e ganho de tempo, evitando desperdícios com produtos parados.

O Sistema *Kanban* funciona como cartões de identificação visual do nível de estoques, onde o funcionário não precisa perder tempo analisando se há falta ou não de um material tornando visíveis as ordens de fabricação a serem processadas.

O *Kanban* foi desenvolvido como um programa para balancear o fluxo de produtos através do processo produtivo, com o objetivo de melhorar o sistema de produtividade e assegurar o envolvimento e participação dos operadores no processo para alcançar uma alta produtividade (Lemos, 1999).

Para demonstração e melhor entendimento da dinâmica envolvida para um *kanban* simples, segue descrição sequencial de atividades sugerida na Figura 2, de acordo com autor (Araújo, 2009):

- a) Um processo (operação 2) necessita de um item do processo anterior (operação 1) e retira esse item do supermercado existente entre os dois processos;

- b) O cartão *kanban* que acompanhava o item no supermercado é levado até o quadro de programação do processo anterior, sinalizando a necessidade de reposição daquele item;
- c) O item é fabricado e o cartão *kanban* colocado de volta junto com ele;
- d) O item é levado até o supermercado existente entre os dois processos.

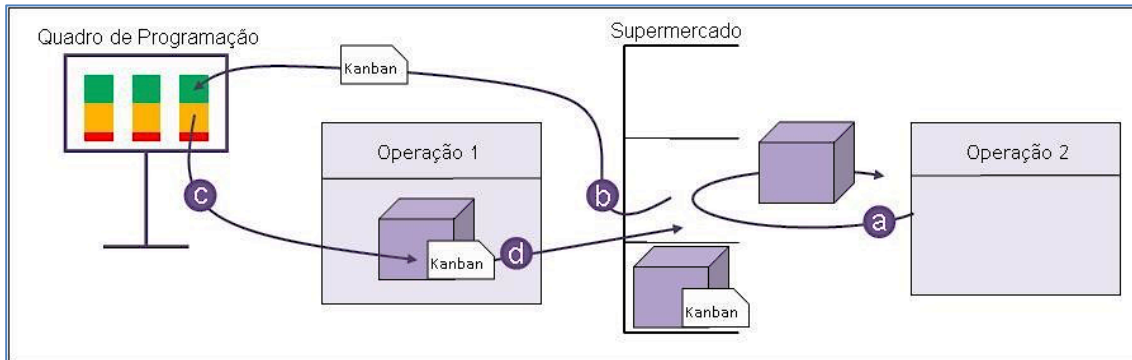


Figura 2. Demonstração do funcionamento do sistema *Kanban*.

Fonte: Araújo, 2009

De acordo com a visualização da quantidade de cartões *kanban* no quadro é possível identificar as quantidades que foram produzidas e as quais ainda serão produzidas durante aquele turno ou do dia de trabalho, sendo assim o quadro é uma fonte importante de informação. A dinâmica de operacionalização deste quadro é bastante simples e feita no próprio chão-de-fábrica. Em síntese, os cartões das peças retiradas dos supermercados são colocados no quadro na ordem do verde, passando pelo amarelo e em seguida o vermelho. Por norma, a produção deve ser necessariamente iniciada para cartões que atinjam a faixa amarela. Quando os cartões atingem a faixa vermelha, significa o consumo de um estoque de segurança dimensionado. Essa faixa de cores é o que determina a prioridade para itens produzidos em um mesmo recurso. A faixa vermelha sempre sinaliza prioridade (mas deve ser continuamente analisado o sistema para que ela sequer seja atingida). Em seguida considera-se a prioridade para itens que atingiram antes a faixa amarela ou que estão mais próximos dela (Araújo, 2009).

Na literatura existem alguns diversos tipos de cartões, os quais Slack, Chambers and Johnston. (2009) classificam em:

- a) *Kanban* de movimentação ou transporte: sinaliza ao estágio predecessor que o material pode ser retirado do estoque e transferido para uma destinação específica;
- b) *Kanban* de produção: autoriza a produção de um item para que seja colocado no estoque;
- c) *Kanban* do fornecedor: comunica ao fornecedor que é necessário enviar materiais ou componentes constituintes de um item para um determinado estágio de produção;

- d) *Kanban* de sinal: são caracterizados por demarcações no chão de fábrica, de modo que quando a área delimitada estiver preenchida o estágio precedente deve parar ou quando a área vazia aciona a produção do estágio que a abastece.

Alguns exemplos de tipo de cartões *Kanban*, podem ser visualizados na figura 3 (Lemos, 1999).

Prateleira Número <i>A61</i>		Processo Precedente	
Item Número <i>P-447</i>		<i>Preparação da Moldura</i>	
Descrição do Item <i>Moldura B</i>		Processo Subsequente	
		<i>Montagem</i>	
Capacidade do Contenedor	Tipo do Contenedor	Número da Emissão	
<i>10</i>	<i>A</i>	<i>3/4</i>	

Kanban de Retirada

Prateleira Número <i>A22</i>		Processo	
Item Número <i>P-447</i>		<i>Preparação da Moldura</i>	
Descrição do Item <i>Madeira</i>			

Kanban de Produção

Figura 3. Tipo de cartões *kanban*.

Fonte: Lemos, Ana Carina (1999, p.22).

Segundo Moura, (2003, citado por Weiss 2015), a principal vantagem dos *kanbans* no processo da fábrica é que os operários não precisam pensar nem adivinhar qual é o programa de produção, simplesmente seguem os pontos de partida e a sequência de cartões. Em alguns processos são realizados mais de um produto em uma mesma máquina, assim quando se troca a sequência de operações - *mix* de produtos - é admissível um pequeno estoque para que seja possível alguma flexibilidade, proporcionando que a fábrica respeite o programa de produção sem sacrificar o suprimento e interromper a linha.

Devido à característica de puxar a produção, o *kanban* agrega algumas funções especiais, tais como:

- a) aciona o processo de fabricação apenas quando necessário;
- b) não permite a produção para estoque além do permitido;
- c) paralisa a linha caso surjam problemas não solucionados;
- d) permite o controle visual do andamento do processo;
- e) é acionado pelo próprio operador;
- f) uma ferramenta para evitar o excesso ou a falta de produção/ entrega de peças;

- g) uma ferramenta para controlar o inventário;
- h) uma ferramenta para descobrir e amplificar as fraquezas dos processos;
- i) produção de peças com base em lotes;
- j) entrega de peças de acordo com o consumo/pedido;
- k) identificação de peças.

1.3.1 Número de Cartões *kanban*

Para compreender como dá-se a relação estoque, cartão *kanban*, produção puxada, é necessário criar um cálculo que demonstre a quantidade de peças ou lotes que serão aceitos como: suficientes, em alerta e necessitando produzir urgente, para que a um determinado produto da linha seja produzido. Como foi visto, o *kanban* demonstra a necessidade de urgência da produção do produto dependendo do pedido do cliente. Porém este pedido não pode começar a ser feito assim que o cliente pede, pois em alguns processos o *lead time* é grande o que deixaria muito tempo o cliente em espera, por isso são necessários estoques para que além de não deixar a produção parada, para que o cliente seja atendido o mais rápido possível.

O tamanho do lote normalmente é definido em função de dois fatores: o número de preparações (*changeover*) que pretende-se fazer por dia e o tamanho do lote. Quanto maior for o tempo de *setup*, maior será o tamanho do lote necessário para diluir os custos e menor será a sua frequência diária (Lemos, 1999, p. 24).

Com isso a determinação do número de cartões *kanban* é tipicamente realizada pela fórmula 1, abaixo:

$$N = \frac{D}{Q} \times LT_{prod} (1 + S) \quad [1]$$

Sendo:

N – Número de *kanban*

D – A demanda média diária

Q – Tamanho do lote por cartão

LT_{prod} – o *lead time* máximo de produção para cada item completar um ciclo produtivo

S – Fator de segurança (%)

Essa equação dimensiona o número de *Kanbans* estaticamente, assim ele desconsidera que o *lead time* é dependente do número de *Kanbans* e do tamanho do lote, bem como de um grande número de fatores que influenciam o ponto ótimo de operação do sistema *Kanban*, entre eles a variabilidade dos

tempos de processo, da demanda, tempo de *setup*, frequência de parada de máquina e problemas de qualidade com os produtos (Lemos, 1999) .

1.4. Aplicação de Simulação

Para entender melhor como o trabalho foi desenvolvido é preciso definir o que é simulação, qual seu objetivo e como fazer. Assim de acordo com Khoshnevis e com Shannon (citado por Poça 2015) a simulação é um processo de criação de modelos com base em sistemas reais ou hipotéticos durante um determinado período de tempo, com a finalidade de melhorar o desempenho, avaliar estratégias e perceber o comportamento de sistemas.

De acordo Banks (1999), simulação é um método empírico com modelação detalhada de um sistema real, onde por meio da utilização de modelos visuais e/ou animações gráficas, permite definir como o sistema irá responder a mudanças na sua estrutura, ambiente ou pressupostos subjacentes (citado por Poça 2015). Entende-se então, que a simulação foi desenvolvida para criação de sistemas a fim de realizar diversos testes que assemelham-se com a realidade, sem alterar os processos já existentes, chegando a um denominador comum.

Ainda segundo estes conceitos é possível compreender que na simulação pode-se realizar vários modelos e várias formas de comportamento do processo, por isso Shannon, Skoogh, Johansson, and Stahre (citados por Poça, 2015) consideram a simulação uma das mais poderosas ferramentas para planejar, desenvolver e analisar os processos produtivos. Além disso, a simulação, para tomada de decisão em problemas operacionais, de projeto e de planeamento, geralmente é utilizada como ferramenta de apoio e auxílio para estes fins.

A simulação funciona como uma ferramenta de diagnóstico para a identificação de problemas e ineficiências na organização. Por meio da simulação é possível testar e analisar diferentes cenários, para verificar o impacto que ocorrerá nos sistemas e avaliar o retorno antes mesmo de realizar as mudanças ou planejar a implementação da transformação do negócio (Almeida, 2015).

Para que estas simulações sejam mais reais e que seja possível imputar os mais diversos parâmetros que um processo apresenta, existem diversos softwares que realizam estes procedimentos. O mais comum e difundido na literatura é o Arena. A animação em simulação é de grande importância, pois facilita na compreensão dos sistemas modelados, já que é capaz de reproduzir os sistemas reais graficamente (Paiva 2005, citado por Poça, 2015). Além disso a visualização e entendimento do processo que são colocados no software ficam mais claros e entendíveis a quem está a montar e a ensinar esta nova ferramenta. Existem alguns tipos de modelos de software de simulação que serão descritos melhor na próxima secção.

Para montagem e desenvolvimento de uma simulação bem-sucedida, segundo Chwif e Medina (2010), devem-se seguir certos passos que são conhecidos na literatura como “metodologias de simulação”.

Estes autores ainda afirmam sobretudo que, o desenvolvimento de um modelo de simulação compõe-se em três grandes etapas (citado por Silva, Medeiros, Freire, & Monteiro, 2011):

- a) Concepção ou formulação do modelo - deve-se ter a clara compreensão do sistema a ser simulado e seus objetivos, definição do escopo com suas hipóteses e níveis de detalhamento, assim como a coleta inicial dos dados de entrada;
- b) Implementação do modelo - o modelo conceitual é transformado em um modelo computacional a partir da utilização de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial, sendo este último o mais utilizado;
- c) Análise dos resultados do modelo - o modelo computacional está disposto para realização dos experimentos. Nesta etapa são realizados vários testes do modelo, e os resultados atingidos são ponderados e documentados. Caso o resultado não tenha sido satisfatório, o modelo pode ser modificado e o ciclo é reiniciado, até que a solução ótima seja encontrada e assim que demonstrar que esta é viável será implantada para melhoria do sistema.

1.4.1. Tipos de Simulação

Os modelos de simulação podem se diferenciar em dois tipos (Chwif e Medina, 2007, citado por Oliveira, 2008):

- a) Simulação contínua: utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo;
- b) Simulação de eventos discretos: utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos, geralmente é mais utilizada que a simulação contínua, uma vez que é mais rápida e possui uma aproximação mais razoável do comportamento do sistema real.

Porem para Law and Kelton, 1991 e Paiva, (2005, citado por Poça, 2015) referem que além destes modelos, é possível também classifica-los como:

- a) Abertos *versus* fechados - os modelos de simulação são classificados como abertos quando o meio envolvente interfere no comportamento do sistema. Em contrapartida, os modelos classificados como fechados não são afetados pelo meio envolvente, nem procedem em função deste;
- b) Estáticos *versus* dinâmicos: os modelos de simulação são considerados como estáticos quando não envolvem a variável tempo e são classificados como dinâmicos quando os modelos possuem as alterações de estado do sistema ao longo do tempo de simulação, envolvendo a variável tempo;
- c) Determinísticos *versus* estocásticos: os modelos de simulação determinísticos não possuem entidades aleatórias, com isso os valores de entrada e de saída são fixos. Assim nestes

modelos, os resultados serão sempre iguais devido o comportamento do sistema ser determinado. Porém, nos modelos de simulação estocásticos, geram resultados aleatórios que podem ser mais ou menos previsíveis.

1.4.2. Terminologias de Simulação

Para entender melhor como os softwares funcionam, independente dos tipos citados anteriormente, é necessário compreender alguns elementos utilizados que representam as características e parâmetros dos processos do modelo conceitual. Para Banks,1999 e Freitas, 2008 (citado por Poça, 2015), os conceitos mais utilizados na simulação que servem de auxílio na formulação dos modelos de simulação encontram-se abaixo:

- a) Entidades: as entidades podem ser classificadas como dinâmicas ou estáticas. As entidades dinâmicas “movem-se” através do sistema, podendo ser por exemplo clientes ou produtos, e as entidades estáticas tem a função de servir a outras entidades, podendo ser por exemplo máquinas. Entretanto, as entidades também podem ser classificadas como temporárias quando entram, percorrem e deixam o sistema ou permanentes quando executam a sua função sem abandonar o sistema;
- b) Variáveis: as variáveis possuem informações necessárias em relação ao sistema em um determinado instante de tempo. O número de pessoas, de peças ou de tarefas nas filas de espera são consideradas variáveis do sistema. As variáveis podem ser alteradas pelas entidades do sistema;
- c) Atributos: os atributos são as características que definem e caracterizam cada entidade no sistema, sendo exemplo a idade e altura dos clientes;
- d) Eventos: os eventos ocorrem em um determinado instante de tempo, sendo exemplo a chegada e saída de clientes do sistema. Os eventos podem alterar atributos e variáveis do sistema modificando os processos;
- e) Recursos: os recursos são entidades estáticas que prestam serviço às entidades dinâmicas, podendo ser, por exemplo, pessoas ou equipamentos. Sendo assim, o recurso é um lugar onde uma entidade fica a receber um serviço durante um determinado período de tempo;
- f) Filas: as filas são locais no sistema onde as entidades dinâmicas esperam enquanto aguardam por um recurso. Normalmente, as filas de espera adotam a estrutura FIFO, ou seja, a primeira entidade a chegar será a primeira a ser processada, do inglês *first in first out*;
- g) Sistema: um sistema é um conjunto de entidades que interagem entre si para a execução de um fim lógico;

- h) Modelo: um modelo é uma reprodução de um sistema real com objetivo de estudar e analisar esse mesmo sistema.

1.4.3. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Uma vantagem importante diz respeito a poder testar novos equipamentos, layouts, sistemas de transporte e etc., sem comprometer recursos em sua aquisição, além disso é possível estudar novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação e etc., sem haver alteração no mundo real (Pessanha, Filho, & Melo, 2011).

Com isso, é possível tomar decisões de investimento de forma concreta, sabendo se os itens descritos irão corresponder ao processo produtivo atual e como será seu comportamento, e se este será válido ou não para organização. Também é possível analisar impactos a médio e longo prazo, pois o tempo na simulação pode ser comprimido ou expandido.

Ainda segundo Pessanha, Filho, and Melo (2011) a construção de modelos requer um treinamento especial, e, devido à sua complexidade, seu domínio é adquirido somente com tempo e experiência. Outro fator a ser considerado é que as saídas da simulação podem ser difíceis de se interpretar, uma vez que elas podem incluir variáveis aleatórias onde não é trivial determinar se os resultados observados são resultantes de inter-relações efetivas das partes do sistema ou se são fruto da aleatoriedade do sistema.

Miyagi, (2006, citado por Pessanha, Filho, & Melo 2011) ressalta que, para compensar estas desvantagens, fornecedores de software de simulação têm desenvolvido modelos pré-concebidos, para favorecer a aderência a este processo. Outros pacotes facilitam a análise dos dados de saída, e o avanço das plataformas computacionais estão diminuindo o tempo gasto no processo.

A pesar das pequenas desvantagens citadas os pontos fortes e a relação custo-benefício é mais aceito visto que em algumas organizações é muito difícil a realização de mudança no processo ou o valor do produto é tão grande que não pode sofrer grandes alterações antes mesmo de saber o impacto que isso dará para organização.

1.5. Software Arena

No ano de 1995 foi lançado o Arena para o Windows 95, já com algumas adaptações anteriores o que possibilitava utilização de gráficos e do rato, sendo esta uma plataforma bem intuitiva, além disso, o software tem como tecnologia de base incorporada a linguagem de simulação SIMAN e combina a facilidade de utilização dos simuladores de alto nível com a flexibilidade das linguagens de simulação e linguagens de programação genéricas (Kelton 2002, citado por Rocha & Marques, 2007). E ainda podem ser utilizados os tipos de simulação contínua ou discreta.

Os processos do Software Arena podem ser realizados juntando blocos lógicos, construindo um modelo computadorizado representativo do modelo conceitual. É possível construir modelos sem utilização de códigos ou de linguagem de código, como era nas simulações anteriores pois o Arena possui ambiente gráfico e visual integrado. A utilização de módulos para definir todas as entidades da simulação, sugere uma fácil configuração de sistemas distribuídos e conseqüente melhoramento do desempenho dos modelos, (2016, Rockwell Automation, citado por Barroca, 2016,).

O Arena disponibiliza uma coleção de módulos contendo recursos de modelação adequados a diferentes tipos de aplicações. Também a utilização de *templates* possibilitam uma fácil adaptação do Arena a áreas diferentes (Markovitch & Profozich, 1996 citado por Almeida, 2015).

1.6. Software Simio

O Software Simio é um sistema onde é possível desenhar os processos e possui orientação a objetos, sem necessidade de utilizar uma linguagem para programação, o sistema é oferecido pela SIMIO LLC. O sistema é um modelo muito parecido com o software Arena, devido seus desenvolvedores serem os mesmos (Simio, 2019).

No software Simio é possível construir um processo rapidamente com entradas e saída baseada na simulação por eventos discretos com estrutura de modelação fácil e flexível sendo possível vê-lo em forma 3D, o que por muitas vezes auxilia no entendimento da simulação e podendo vê-lo de vários ângulos diferentes.

O Simio é baseado num paradigma orientado a objetos, mais genérico, na qual objetos executam em processos, mudando radicalmente a forma como os modelos são construídos e utilizados. Os sistemas são formulados pela combinação de objetos que representam os componentes físicos destes sistemas. O software dispõe de uma biblioteca de objetos padrão que permite rapidamente realizar uma diversidade de sistemas. Outro aspecto a salientar, é a sua arquitetura extensível que permite aos utilizadores adicionar novos objetos e mostrar o comportamento dos seus processos para validação e visualização através de uma interface gráfico sofisticado, do tipo 3D (Almeida, 2015).

A parte visual do software Simio será demonstrado como parte superior onde encontra-se *Ribbon*, a qual é composta por sete menus, nomeadamente, *Project Home*, *Run*, *Drawing*, *Animation*, *View*, *Visibility* e *Support*. No centro da janela principal do Simio encontram-se presentes cinco janelas, são elas (Poça, 2015) :

- a) *Facility* - janela onde é efetuada a elaboração e a animação através de objetos obtendo a visualização do sistema,
- b) *Processes* - janela onde se determina a lógica dos processos para a performance dos objetos,
- c) *Definitions* - janela onde se pode ajustar os parâmetros para serem utilizados no modelo,

- d) *Data* - janela onde se pode estabelecer conjuntos de dados para serem utilizados no modelo e realização de tabelas e
- e) *Results* - janela onde se pode visualizar e explorar os dados resultantes da simulação.

Do lado direito da janela principal do SIMIO (Figura 4) encontra-se na parte superior o *Navigation* que auxilia na navegação dos modelos de simulação e na parte inferior, a *Properties* que permite formatar as propriedades dos objetos. Já no lado esquerdo da janela principal encontra-se as bibliotecas que contém os objetos a serem utilizados na criação de modelos de simulação (Sturrock & Pegden, 2010, citado por Poças, 2015).

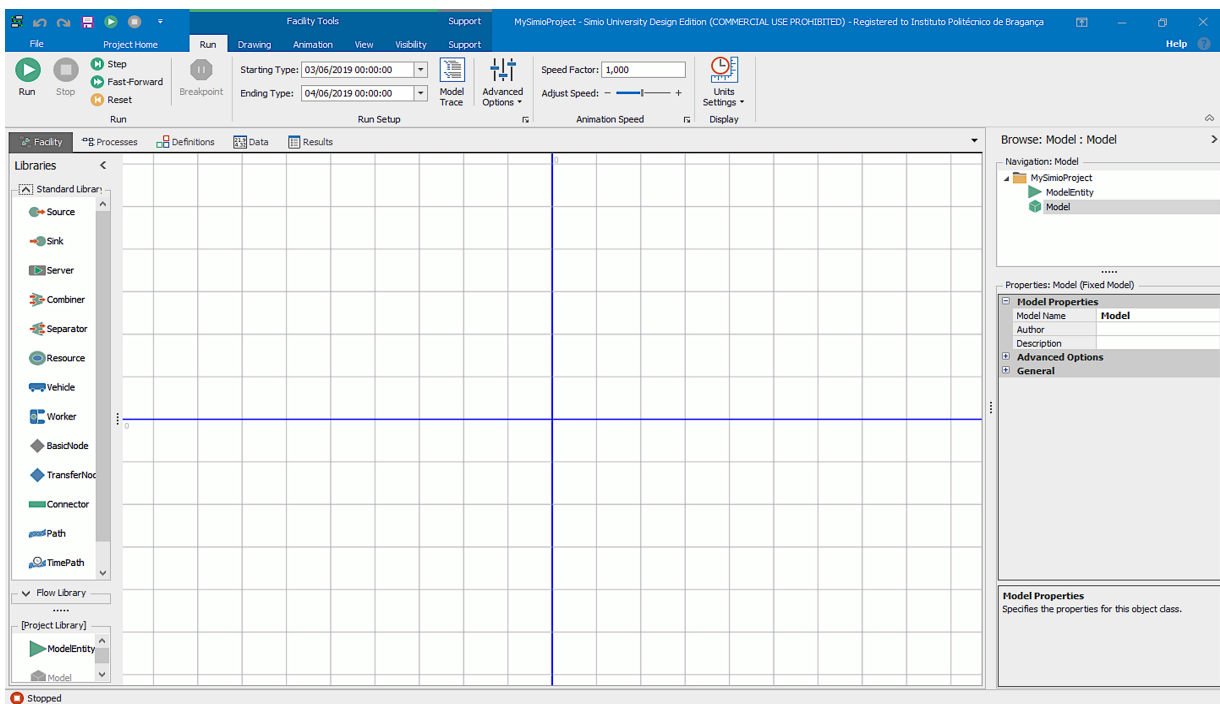


Figura 4. Janela principal do Simio.

Fonte: Retirada pelo próprio autor.

O simulador Simio pode ser aplicada a uma vasta variedade de áreas. A seguir alguns exemplos de algumas áreas que o simulador pode ser utilizado para entender e melhorar a eficiência do sistema (Smith, Sturrock, & David Kelton, 2017):

- a) Aeroportos – entradas, saídas, segurança, terminais de transporte, bagagens, alimentação;
- b) Hospitais – departamento de operação de emergência, ambulância, estratégias de serviços regionais, recursos de alocação;

- c) Portos – gestão dos portos, tráfego de caminhões, estoques de *containers*, investimento de capitais, operação de guindastes;
- d) Mineração - tráfego de materiais e de trabalho, alocação de equipamento;
- e) Parques de diversão – transporte de clientes, fila de espera, gestão de multidões e aglomerações;
- f) *Call centers* – gestão de pessoas, avaliação de níveis de habilidade, serviços de melhoria, agendamento de algoritmos;
- g) *Supply Chain* (cadeia de suprimentos) – redução de risco, alocação de produtos transporte, contagem de estoques, gestão de crescimento, plano de contingência;
- h) Manufatura – análise de capital de investimento, linha de otimização, produção alternada de produtos, redução de desperdício;
- i) Militar – logística, detecção, ajuda humanitária, combates;
- j) Telecomunicação – transferência de mensagem, reabilitação, segurança de rede contra interrupções ou ataques;
- k) Sistema criminal – utilização em capacidade utilização nos presídios, operações de libertação e libertação condicional;
- l) Sistema de emergência – tempo, locação de estação, equipamentos e pessoal;
- m) Setor publico – alocação de máquinas para votação;
- n) Serviço customizado – melhoria de direção de serviços, *back-office* de operações, alocação de recursos e capacidade de planeamento.

Ainda segundo o Simio, os modelos de simulação podem ser construídos por modeladores para uso de modelos hierárquicos. É possível modificar um objeto como sendo uma máquina, uma pessoa, clientes (quando se trabalha com serviços), algum meio de transporte ou objetos da manufatura como por exemplo, garrafas (indústria de bebidas), ou alguns objetos (cadeiras, mesas, etc).

Um modelo de Software do Simio se parece exatamente como um sistema real. Os objetos podem ser aministrados, pode-se mostrar o transporte dos produtos de um setor para outro (paleteiras, empilhadeiras).

Além de poderem ser usados de forma a aumentar o rendimento e eficiência dos processos em diversos ramos das indústrias, é preciso lembrar que para que alguém utilize o software da melhor forma é preciso que tenha alguém que o compreenda bem. Assim o software procura sempre deixar sua arquitetura mais avançada e de fácil acesso para ser utilizado na área educacional devido alguns pontos, por exemplo:

- a) Menor custo total de propriedade proporciona resultados mais rápidos com menos investimento em tempo e dinheiro;
- b) A tecnologia 3D integrada proporciona uma experiência visual imersiva;
- c) O verdadeiro design orientado a objetos torna o Simio fácil de estender;

- d) Estenda a vida útil do modelo para reduzir riscos e melhorar as operações;
- e) Interface de usuário moderna para simplificar o aprendizado e o uso;
- f) Arquitetura avançada para o futuro;
- g) Apoio acadêmico para atender às necessidades da educação.

De acordo com o Simio a simulação fornece um modelo preciso do comportamento do sistema que pode ser utilizado para tomada de decisão, documentação e melhoria do desempenho dos processos. A modelagem baseada em objeto Simio proporciona a simulação virtual. Além disso, estes simuladores auxiliam no planejamento e gerenciamento de incertezas a fim de que os riscos sejam reduzidos e os objetivos alcançados.

Com todas estas possibilidades o Software Simio possibilita encontrar as melhores soluções através da otimização dos processos usando o suplemento OptQuest. O OptQuest são algoritmos e técnicas sofisticadas que são capazes de criar e investigar cenários demonstrando qual a melhor decisão que um gestor deve tomar.

Além destes recursos o software Simio permite visualizar a parte de *Reports*, onde demonstra os resultados detalhados em formato de reporte, demonstrando as entidades que entraram, que foram processadas e que saíram do processo. Estes relatórios podem ser exportados ou enviados por e-mail.

2. Metodologia de Pesquisa

O segundo capítulo irá enfatizar o problema como demonstrar o sistema *kanban* em um processo através de um software de simulação discreta. Além disso, este capítulo demonstrará de que maneira o trabalho foi desenvolvido para atingir o objetivo geral proposto: desenvolver um modelo de simulação para demonstrar a aplicação do sistema *Kanban* em um simulador de software. Para atender os quesitos acima será realizada:

- a) Revisão de literatura do sistema *Kanban*, sua origem e aplicações,
- b) Compreender a importância do simulador para aplicação de mudanças em um processo,
- c) Aplicar a metodologia no software e demonstrar de que maneira o sistema *kanban* é representado no software Simio.

2.1. Objetivo de estudo e hipótese de pesquisa

Para atingir o objetivo do presente estudo, o trabalho aplicará situações em software para apresentar a melhor forma da realização desta tarefa para que as organizações não precisem realizar grandes alterações e obtendo uma maior eficiência na aplicação da ferramenta de melhoria e redução de desperdícios, tais como mencionados anteriormente:

- a) redução de estoques intermediários,
- b) excesso de produção,
- c) redução de estoques de produtos finais e
- d) utilização do homem de forma incorreta (mão-de-obra e intelectual).

É plausível lembrar que o fator superprodução acarreta em alguns fatores que não trazem eficiência a produção, além de não agregar valor ao produto, pois não é algo que faça o cliente pagar por isto, por

exemplo: espera, filas, movimentação, transporte, produto parado, manutenção em equipamentos, dentre outros.

Para que isto não ocorra é necessária implantação de processos enxutos tais com:

- a) utilização da filosofia *just-in-time*,
- b) produção de pequenos lotes, conseqüentemente maiores números de *setups* sendo necessários um bom planejamento da produção,
- c) utilização do sistema *pull* – produzir apenas quando há pedidos pelo cliente ou pela próxima cadeia de utilização dos produtos,
- d) Ser mais volátil e flexível na produção por depender diretamente da demanda real do produto no mercado.

Além de proporcionar estes modelos mais visuais para as organizações, a mesma é possível ser utilizada em momentos de aprendizagem da ferramenta, seja ela para explicação de como funciona para uma possível implantação posteriormente, seja para apresentação em instituições de ensino, demonstrando ao aluno como que a mesma é aplicada, suas funcionalidades e possibilidades de alterações para saber como a ferramenta *kanban* é operada.

Para demonstração destes modelos visuais foi utilizado o software Simio, por possuir fácil compreensão, fácil montagem dos componentes e estações de trabalho, possível visualização do cartão “passando” pelo processo. Além disso, é permitido a visualização em três dimensões e tornar o modelo mais real com a alteração dos blocos do software por modelos, desenhos e personificação dos trabalhadores, transportes e todo o material utilizado no processo, facilitando a compreensão de todo o sistema.

2.2. Descrição da Coleta dos Dados

Os dados foram coletados a partir dos cenários. Os cenários foram construídos em cima dos parâmetros definidos no modelo da simulação – número de cartões *kanban* e o tempo de processamento das atividades. Com a mudança dos parâmetros são gerados resultados demonstrando o comportamento do sistema a permitindo comparações.

2.3. Descrição e Análise dos Dados

Para realização do simulador primeiro foi necessário encontrar a melhor forma de transcrever o sistema do cartão *kanban* no simulador Simio. Pois a forma lúdica proposta não era tão simples visto que é possível lembrar que o cartão “anda” com o produto no decorrer do processo e depois retorna ao início do processo para informar que o mesmo já foi efetuado e utilizado novamente para o produto seguinte.

Esta demonstração foi possível no Simulador quando utilizado contadores onde faz a contagem dos cartões demonstrando a quantidade do mesmo na tela do ecrã, sendo possível demonstrar de forma idêntica a que acontece na realidade. Logo após esta identificação foi realizado alguns processos mais complexos para verificar o comportamento do mesmo.

Foram realizados cenários distintos com a modificação do número de cartões *kanban* e tempo de processamento das atividades, para saber como o sistema complexo se comportaria e coletados resultados através de gráficos

3. Apresentação e Análise dos Resultados

O presente capítulo tem como finalidade expor a solução do problema proposto: demonstrar o sistema *kanban* em um processo através de um software de simulação discreta. Através do objetivo, que é desenvolver um modelo de simulação para demonstrar a aplicação do sistema *Kanban* em um simulador de software. Com isso foram realizados vários testes afim de encontrar a solução ótima para a aplicação do sistema *Kanban* no Software Simio, o qual será discutido no tópico a seguir.

3.1. Modelo Inicial

Inicialmente foi realizada uma montagem de apenas dois *workstations* – os quais têm a funcionalidade flexível, com uma entrada e uma saída. Sendo possível alterar vários parâmetros como *process time* (tempo de processamento), *waiting for material* (espera de material), *operation quantity* (quantas entidades são processadas), *value expression* (expressão usada para dar valores em cada entidade de entrada), *materials* (materiais na atividade do processo da *workstation*), dentre outros.

Os *workstations* serão representados como uma estação de trabalho ou um processo de fabrico. Desta forma a linha de produção simulada foi dinamizada através de um processo com várias entradas, simulando assim um processo com mais de um produto para que se tornasse mais realista. Desta forma foram dispostos uma quantidade de cartões para ficarem de estoque a espera do pedido do cliente – conhecido como *warm up* (para que os estoques intermediários estejam com materiais e que estes estejam prontos para entrega ao cliente não tendo um *delay*) do sistema, onde se encontram os materiais a espera de processamento.

Foi observado ao longo da simulação que, o próprio sistema preencheu os estoques intermediários presentes entre as estações. Desta forma foi determinado um tempo de espera inicial, até à chegada dos pedidos dos clientes. Os pedidos foram feitos de forma aleatória para compreender como que a

simulação iria funcionar, e se tinha alguma ligação com o que aconteceria normalmente na realidade em uma indústria.

Foi optado pelo desenvolvedor da simulação representar apenas o produto, invés do produto e do cartão *kanban* visto que os cartões se deslocam junto com os produtos no sistema de fabrico. Para atender um dos objetivos do trabalho que é tornar esta simulação de fácil compreensão e para demonstrar a aplicação da ferramenta nas organizações, foram inseridos contadores para representar um quadro *kanban*. A simulação simples está representada na figura 5, abaixo.

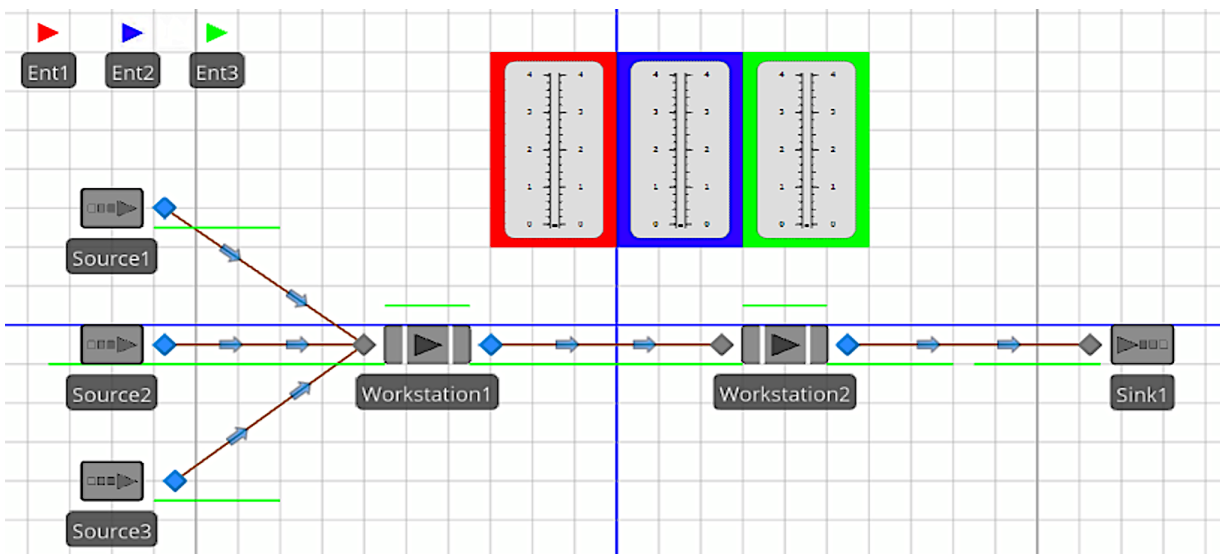


Figura 5. Modelo inicial simples.

Fonte: próprio autor

Neste modelo inicial simples (figura 5) foram utilizados os seguintes objetos:

- a) 3 *Sources* – gera entidades que iniciam o processo;
- b) 1 *Sink* - destrói as entidades depois de completar todo o processo;
- c) 2 *Workstations* – representa o processo ou atividade do modelo com processamento, tempo de *setup* e requerimento de materiais;
- d) 3 *Entities* – podem representar o que será processado, no caso representam os produtos.

As ligações entre os objetos foram previamente determinadas de acordo com as suas características, sendo assim estas ligações podem sofrer alterações de acordo com os objetos que forem ligados. Desta forma as ligações do *Source* para o *workstation* foram utilizados os *connectors*, pois eles não apresentam tempo de transporte entre os conectados uma vez que o *delay* entre os *source* e o

workstation não deveriam pertencer nesta simulação visto que o tempo deve ser contado apenas a partir da primeira estação de trabalho.

Já nas outras ligações, foram utilizados o *Path*, o qual tem um tempo de processamento. Neste modo é possível observar a entidade se movendo entre os processos e é possível adicionar um tempo que a entidade demora para percorrer entre uma estação e outra.

A próxima etapa da simulação é incorporar os clientes e seus respectivos pedidos, onde serão realizados os ajustes de demanda, tempo de pedido do cliente e ajustes nos parâmetros de tempo de processamentos da simulação para não haver espera pelo cliente. Para isso foi adicionado outro *source* correspondente ao cliente, como demonstra a figura 6, abaixo.

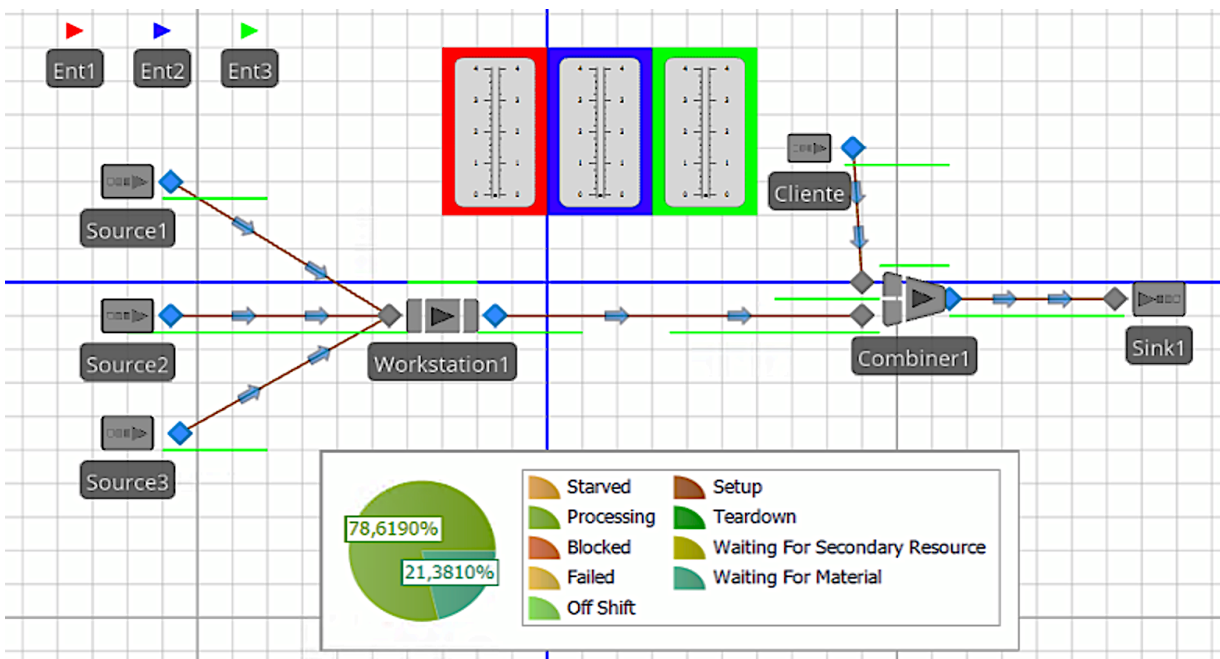


Figura 6. Representação do modelo com cliente.

Fonte: próprio autor

O cliente é quem sempre determina a quantidade de lotes a serem produzidos. Com a implementação dos cartões *kanban* é determinado que caso não existam pedidos dos clientes não existirá assim produção, evitando *work in process* (estoques intermediários). Assim tornando fluida o processamento entre os pedidos dos clientes de a produção, o que significa que a produção será o mais próximo possível de um processo linear com pequenas perturbações. Esta demanda deve ser conhecida pela organização para que equilibre e nivele o sistema. É possível realizar projeções de pedidos de acordo com o histórico anterior, comparando dias de semana, meses do ano evitando um acúmulo de materiais e utilizando as metodologias do *just in time*.

Neste modelo foi substituído o *workstation 2* por um *combiner*. O *combiner* tem propriedade de combinar duas entradas, no caso do sistema apresentado a produção e o pedido dos clientes. Para que este modelo funcione corretamente foram adicionadas tabelas as quais fazem correspondência com os materiais onde, a cada pedido do cliente o cartão *kanban* voltasse para o *workstation 1* demonstrando que existe a necessidade da produção de outro material, demonstrando assim a forma correta do funcionamento do sistema *kanban* como visto nas referências anteriormente.

Nesta simulação foram adicionados processos de espera de materiais e de liberação de produção para que os *workstations* atendam o sistema *kanban*, visto que eles só devem liberar a próxima entidade quando há necessidade, respeitando o quadro *kanban* e os pedidos dos clientes.

O gráfico da figura 6, representa as atividades desenvolvidas na *workstation 1*, com a finalidade de saber quanto tempo ela ficou a funcionar e quanto tempo ficou ociosa. Quando é demonstrado que fica à espera de material, entende-se que esse material é o cartão *kanban* correspondente ao pedido do cliente, ou seja, fica à espera do retorno do cartão *kanban* consumido pelo cliente.

3.2. Modelo de Simulação Complexa

Neste modelo foi utilizado uma cadeia mais complexa de produção visando demonstrar o que ocorre na realidade de uma indústria. Com isso foram utilizados três tipos de produtos diferentes os quais utilizaram de um mesmo Workstation, ou seja, os três produtos passaram pela mesma estação de trabalho. Com isso o programa terá que definir quem processar primeiro visto que dependerá da demanda do mercado pois como foi relatado o intuito da utilização do cartão *Kanban* é produzir apenas o que o mercado pede reduzindo o número de estoque durante o processo.

Para representar esta simulação foram utilizados:

- a) 4 *sources*, sendo três para os produtos e um para o cliente;
- b) 7 *workstations*;
- c) 1 *combiner*;
- d) 1 *sink*;
- e) 3 *Entites*;

Foi montado uma cadeia de produção tal como destacado na figura 7, abaixo. Nesse modelo já foi implementado as figuras das caixas demonstrando que é uma produção em lotes. Estas mudanças podem ser feitas no próprio simulador onde dispõe de várias animações para tornar mais real e de fácil identificação os processos a serem realizados no *software*.

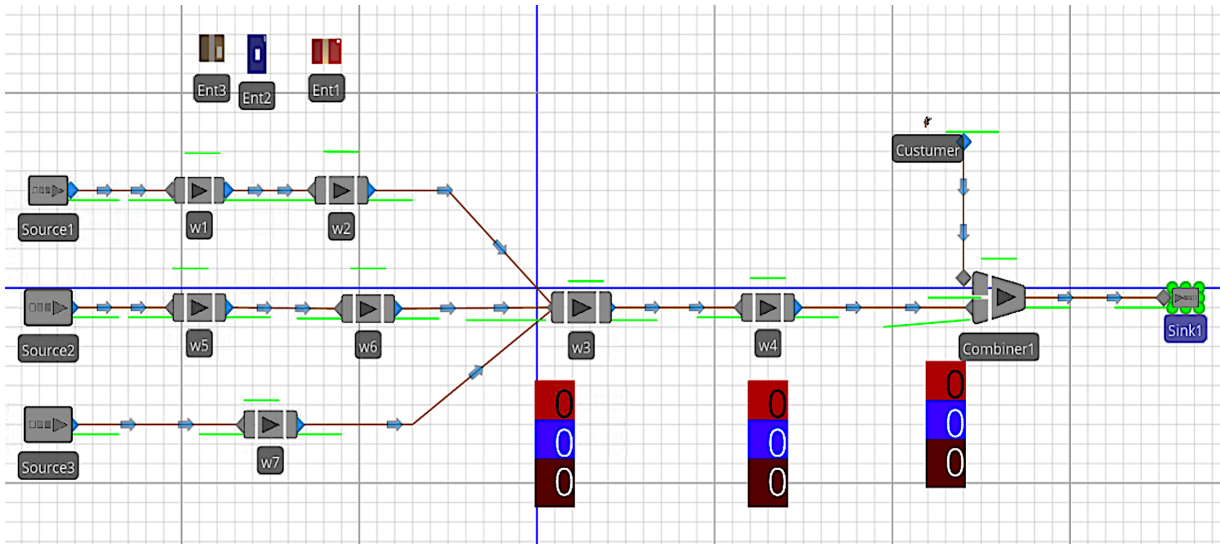


Figura 7. Representação do modelo complexo.

Fonte: próprio autor

Além disso foi realizada criação de processos para que os *workstations* entendessem o sistema *kanban* que funcionou da seguinte forma: a próxima entidade só será passada para a próxima estação assim que os cartões *kanban* forem diminuindo, o que significa que precisa de mais produtos no próximo estágio. Na simulação esta representação foi realizada na forma de processos internos do programa onde configurou-se que se não houvesse cartões na próxima estação não é necessário mais a produção, bloqueando assim os processos só sendo liberado quando o mesmo fosse consumido pela estação seguinte.

Para isso foram criados materiais onde eles representam os cartões, e os mesmo são demonstrados em cada contador. A cada produto que chega há uma redução nesse número e este é retornado pelo comando de um processo no software o qual gera o comando de que quando passam pela saída da próxima *workstation* este cartão volta para a estação anterior fazendo a contagem dos cartões e liberando a produção do próximo lote. Quando esse número chega a zero o processo é interrompido até que o lote seja consumido e envie novamente.

Para que o processo esteja perfeito e não tenha atrasos de entrega dos produtos é preciso estar balanceado e nivelado, ou seja, ele precisa ter o mesmo tempo da demanda, do pedido do cliente. Foi inserido no simulador em quanto tempo e quais produtos vão ser pedidos pelo cliente. Os parâmetros inseridos foram:

- a) Sequência de produtos – entidade 1, entidade 2, entidade 1, entidade 2, entidade 1, entidade 3;

- b) Tempo – demanda dos produtos (cliente) – a cada 20 minutos é gerada um pedido do cliente de acordo com a sequência acima.

Com essas informações é possível fazer o nivelamento através das configurações através da distribuição do tempo de processamento para cada *workstation* tendo como tempo de uma sequência 120 minutos, ou seja, o tempo de processamento deve ser também de 120 minutos ou pouco menos para que tenha uma margem de segurança caso aconteça algum desajuste no processo ou algo não programado, evitando assim atrasos e um aumento no tempo de espera do cliente.

O sistema pode ser modificado de diferentes maneiras onde os blocos podem ser complementados por servidores, o que possivelmente modelará alguns processos mais complexos. A distância entre os objetos pode ser mais longa para tornar a simulação mais realista e ilustrativa, podendo acrescentar transportes entre uma estação e outra, ou pode ser usado *TimePaths* para definir o tempo de viagem manualmente. O número de todos os tipos de possíveis mudanças na simulação é bastante grande tal como o número de maneiras de implementar a simulação. Pode ser usado para construir sistemas realistas ou apenas para criar algumas simulações esquemáticas apenas para descobrir os possíveis resultados. Pode ser usado para estudar em escolas, universidades, empresas e assim por diante. Os alunos podem visualizar o processo requerido, explorar a lógica e o conceito do processo de simulação, dos cartões *kanban*, das funções Simio e após a mudança e melhorar a simulação (Kharin, 2018).

3.3. Análise das experiências

O software Simio também apresenta a possibilidade de realizar experimentos com vários cenários, indicando os testes a serem realizados a fim de verificar qual é o melhor parâmetro que se adequa ao modelo. Essa verificação dá-se pelos *reports* onde são demonstrados os resultados dos cenários.

Os parâmetros que foram alterados no modelo complexo, figura 7, foram a quantidade de cartões *kanban*, um e dois a menos que os já pré-estabelecidos e o tempo de processamento, ou seja, o tempo de processo das estações de trabalho. Essa última variação foi realizada com tempos de 5%, 10% e 15% a mais e a menos dos já pré-estabelecidos.

Através dessas definições foram desenhados nove cenários. Cada cenário contém um *mix* com as variações do tempo de processamentos, do cenário 1 ao 3 forma utilizados a variação de +/-5%, do cenário 4 ao 6 foram utilizados a variação de +/-10% e nos cenários 7 ao 9 a variação de +/-15%. Estas variações foram realizadas nas *workstations* 2, 3, 4, 6 e 7.

Além disso, foram realizadas as variações dos cartões *kanban*, as quais no software estão representadas como materiais A, B e C, com variações de A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 e C3. Os números representam os tipos de produtos presentes na linha.

Para avaliar o impacto destas mudanças foram utilizados como *responses*: o tempo de espera dos clientes em cada cenário e os tempos de máquina em processo das *workstations* 3 e 4. Foram utilizadas

apenas estas *workstations* devido ao grau de importância que elas representam na simulação, pois são elas quem processam as três entidades e as quais mais interferem no sistema. Para melhor visualização e entendimento seguem os experimentos retirados do Simio.

Design							
Response Results							
Pivot Grid							
Reports							
Dashboard Reports							
Input Analysis							
Scenario		Replications		Controls			
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	w2_Time (Minutes)	w3_Time (Minutes)	w4_Time (Minutes)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.05*40,40,40+0.05*40)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.05*40,40,40+0.05*40)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario3	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.05*40,40,40+0.05*40)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)	Random.Triangular(20-0.05*20,20,20+0.05*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario4	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.1*40,40,40+0.1*40)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario5	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.1*40,40,40+0.1*40)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario6	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.1*40,40,40+0.1*40)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)	Random.Triangular(20-0.1*20,20,20+0.1*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario7	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.15*40,40,40+0.15*40)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario8	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.15*40,40,40+0.15*40)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario9	Idle	50	0 of 50	Random.Triangular(40-0.15*40,40,40+0.15*40)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)	Random.Triangular(20-0.15*20,20,20+0.15*20)
*	<input type="checkbox"/>						

Figura 8. *workstation* 2, 3 e 4.

Fonte: próprio autor.

Na figura 8, está demonstrado a *workstation* 2, 3 e 4 onde apresenta uma variação de tempo de processamento, gerado com a distribuição triangular. Foi utilizada a distribuição triangular para a indicação do tempo dos processos, pois ela é utilizada como uma ferramenta de modelagem quando se tem um conhecimento do seu valor mínimo e máximo, como na distribuição uniforme, e também quando se tem uma estimativa para o valor mais provável, ou seja, a média do processo (Rosa, 2017).

Além disso, caso fosse utilizada uma distribuição que não apresentasse limites nas caudas (valores extremos), haveria uma chance dos tempos dos processos se apresentarem muito discrepantes (tanto para o máximo quanto para o mínimo), não representando assim uma simulação real.

Os parâmetros da distribuição triangular foram calculados da seguinte forma:

- a) Para variação de 5% ($a=\mu-0.05*\mu$, $b=\mu$, $c=\mu+0.05*\mu$);
- b) Para variação de 10% ($a=\mu-0.1*\mu$, $b=\mu$, $c=\mu+0.1*\mu$);
- c) Para variação de 15% ($a=\mu-0.15*\mu$, $b=\mu$, $c=\mu+0.15*\mu$);

Onde a, b e c, são o mínimo, a moda e o máximo, respectivamente, da distribuição triangular a utilizar.

Design Response Results Pivot Grid Reports Dashboard Reports Input Analysis								
Scenario								
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	w6_Time (Minutes)	w7_Time (Minutes)	A1_Quantity	A2_Quantity	A3_Quantity	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Idle	Random.Triangular(60-0.05*60,60,60+0.105*60)	Random.Triangular(120-0.05*120,120,120+0.05*120)	3	2	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Idle	Random.Triangular(60-0.05*60,60,60+0.105*60)	Random.Triangular(120-0.05*120,120,120+0.05*120)	2	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario3	Idle	Random.Triangular(60-0.05*60,60,60+0.105*60)	Random.Triangular(120-0.05*120,120,120+0.05*120)	1	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario4	Idle	Random.Triangular(60-0.1*60,60,60+0.1*60)	Random.Triangular(120-0.1*120,120,120+0.1*120)	3	2	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario5	Idle	Random.Triangular(60-0.1*60,60,60+0.1*60)	Random.Triangular(120-0.1*120,120,120+0.1*120)	2	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario6	Idle	Random.Triangular(60-0.1*60,60,60+0.1*60)	Random.Triangular(120-0.1*120,120,120+0.1*120)	1	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario7	Idle	Random.Triangular(60-0.15*60,60,60+0.15*60)	Random.Triangular(120-0.15*120,120,120+0.15*120)	3	2	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario8	Idle	Random.Triangular(60-0.15*60,60,60+0.15*60)	Random.Triangular(120-0.15*120,120,120+0.15*120)	2	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario9	Idle	Random.Triangular(60-0.15*60,60,60+0.15*60)	Random.Triangular(120-0.15*120,120,120+0.15*120)	1	1	1	

Figura 9. workstation 6 e 7 e material A.

Fonte: próprio autor

Na figura 9 encontram-se a continuação das linhas dos cenários onde as outras colunas representam os workstations 6 e 7 e o material A.

Design Response Results Pivot Grid Reports Dashboard Reports Input Analysis											
Scenario								Responses			
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	B1_Quantity	B2_Quantity	B3_Quantity	C1_Quantity	C2_Quantity	C3_Quantity	waitcustomer	inProcessW3	inProcessW4
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Idle	3	2	2	3	2	2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Idle	2	1	1	2	1	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario3	Idle	1	1	1	1	1	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario4	Idle	3	2	2	3	2	2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario5	Idle	2	1	1	2	1	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario6	Idle	1	1	1	1	1	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario7	Idle	3	2	2	3	2	2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario8	Idle	2	1	1	2	1	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario9	Idle	1	1	1	1	1	1			

Figura 10. Material B e C e responses.

Fonte: próprio autor

Na última figura referente aos cenários representam os materiais B e C e as variáveis de resposta. A coluna *waitcustomer* indicará o tempo em que o cliente ficará à espera. Estes tempos são esperados visto que, há uma variação no tempo de processamento que acarreta em um *delay* do *leadtime* deixando assim cliente esperando pelo produto. Além disso, a diminuição do número dos cartões *kanban* demonstra uma quantia reduzida de estoques intermediários, deixando o sistema mais vulnerável pois a qualquer imprevisto os produtos estarão em menor quantidade nas filas de espera.

As colunas *InprecessW3* e *InprecessW4* demonstrarão o tempo em percentagem que as *workstations* 3 e 4 ficaram processando as entidades.

3.4. Resultados

Os resultados encontrados foram os esperados de acordo com a leitura realizada neste trabalho. Podemos dividir estes resultados em três blocos: o dos cenários 1, 4 e 7, o segundo com os cenários 2, 5 e 8 e o último com os cenários 3, 6 e 9.

Nos cenários 1, 4 e 7 foram utilizados mais números de cartões *kanban* com o intuito de não deixar o cliente à espera e os resultados demonstram que isso ocorre mesmo na variação máxima (cenário 9) dos tempos de processo em +/-15%, como demonstra a figura 11.

Pode-se verificar também que nos cenários 3, 6 e 9 apresentam alto tempo de espera por terem apenas um cartão em cada lote de produto e baixo tempo das *workstations* em trabalho demonstrando-se ociosas por boa parte do tempo.

CENÁRIOS	WAITCUSTOMER	INPROCESSW3	INPROCESSW4
cenário1	0,000	99,005	99,551
cenário2	0,708	83,003	85,449
cenário3	2,355	63,869	65,363
cenário4	0,000	98,865	99,245
cenário5	0,629	83,589	86,086
cenário6	2,266	64,561	66,098
cenário7	0,000	98,548	99,068
cenário8	0,636	83,392	85,869
cenário9	2,238	64,760	66,284

Figura 11. Resultados dos parâmetros.

Fonte: próprio autor

Mesmo colocando como parâmetro que o tempo dos clientes em espera deve ser minimizado e os dos processos maximizados para não ficarem ociosos, isso nem sempre se demonstra presente visto que, a variação dos cartões *kanban* no processo influencia muito nos resultados.

O Software Simio propõe várias formas de ilustrar os resultados, tal como histograma, intervalos de confiança, *dashboard*, ou com tabelas com todas as variáveis imputadas. Optou-se em utilizar os intervalos de confiança visto que são mais ilustrativos e representativos.

Para compreender estas informações é preciso saber o que cada elemento representa. O quadrado preto mostra a região com observações entre os percentuais: inferiores e superiores, que são 25% e 75%. A barra mostra o intervalo de todos os valores, já a parte amarela é o intervalo de confiança na média e as caixas azuis são os intervalos de confiança nos pontos percentuais inferior e superior. E o ponto no centro representa a média dos resultados.

Dentre estes resultados a figura 12 expressa os resultados encontrados na figura 11, com relação ao tempo de espera dos clientes. Tal como demonstrado nos cenários 1, 4 e 7 não há espera do cliente devido a maior quantidade de cartões *kanban* na linha. Já os cenários 2, 5 e 8 apresentam uma espera entre 0,5 horas a uma hora dos clientes devido ao aumento do número de cartões.

Já os cenários 3, 6 e 9 apresentam maior tempo de espera, visto que o sistema está com apenas 1 cartão *kanban* em todos os processos, além disso também demonstra um grande intervalo dos resultados o que significa que o tempo de espera dos clientes tem alta variabilidade. Como consequência desta ação é demonstrado que o processo também se apresenta instável, ou seja, não está conseguindo atender a demanda dos clientes conforme o tempo dos pedidos. Comparando com os outros cenários é possível verificar que seu intervalo de valores é bem superior visto que as barras se encontram bem longe da média.

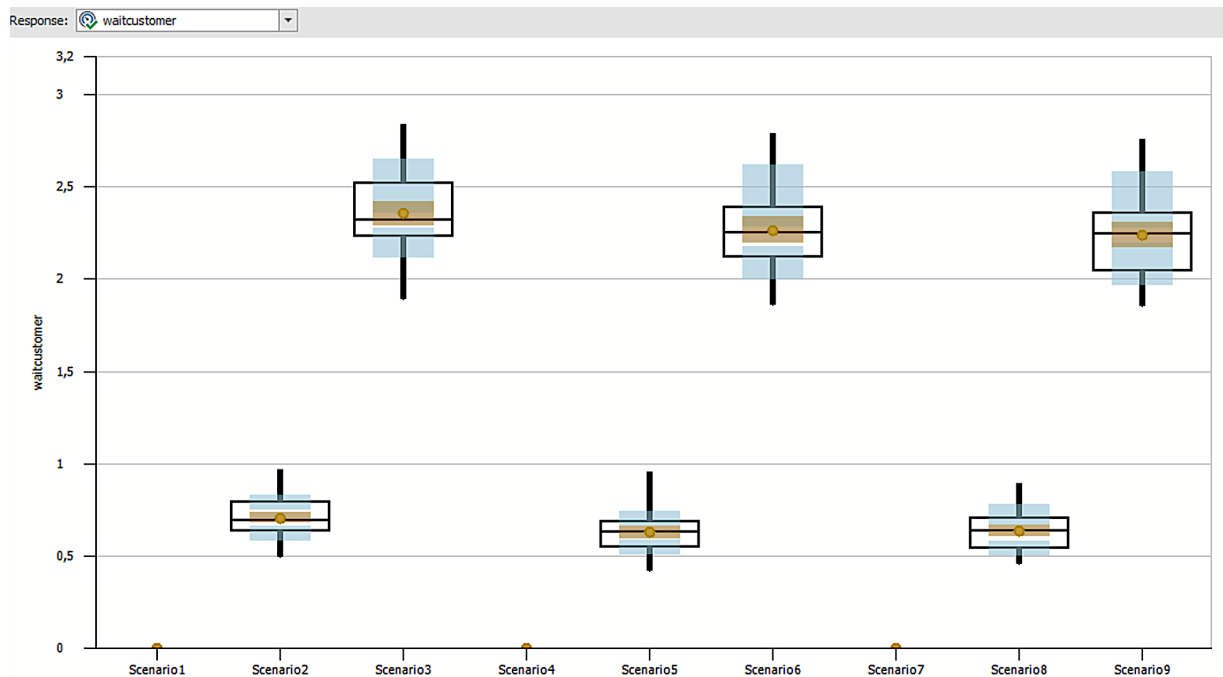


Figura 12. Gráfico de espera dos clientes

Fonte: próprio autor

Agora para a análise do funcionamento dos *workstations* 3 e 4. A figura 13 apresenta os resultados dos tempos do *workstation* 3. Esse gráfico representa o tempo em uma escala de 0 a 100% em que os cenários 2, 5 e 8 apresentam uma variação mínima no tempo, ou seja, as máquinas se manterão em um ritmo constante de trabalho, o que significa que os tempos de processo e o de demanda (*takt time*) estão em condições perfeitas, porém estão com percentagens um pouco abaixo se comparada aos dos

cenários 1, 4 e 7. Já nos cenários 3, 6 e 9 os processos se encontram mais ociosos, visto que a percentagem de tempo de processamento cai significativamente quando comparado aos outros cenários. Além disso, o quadrado preto é maior do que o dos outros cenários, demonstrando assim uma maior variação de percentagem.

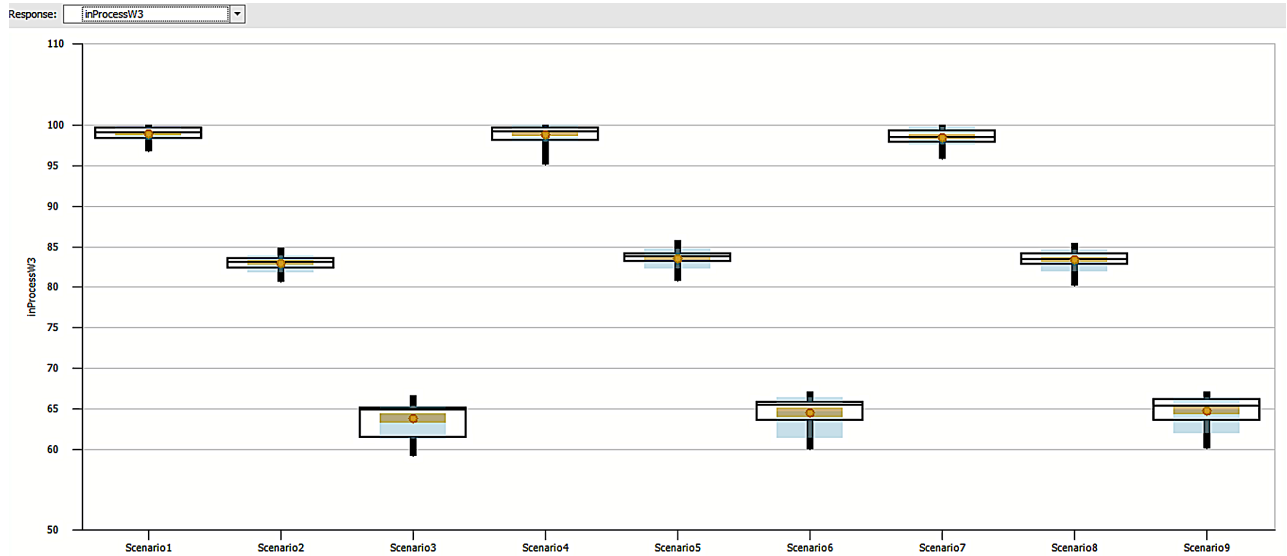


Figura 13. Resultado da análise do W3

Fonte: próprio autor.

Com relação aos tempos da *workstation* 4, os comportamentos dos cenários são bem semelhantes ao do gráfico da *workstation* 3. Quanto aos seus resultados, são levemente melhores quando comparados com os resultados do *workstation* 3. Além disso, as discrepâncias com a média são menos evidentes, o que demonstra ter uma maior nivelamento e tempo de resposta com a demanda dos clientes.

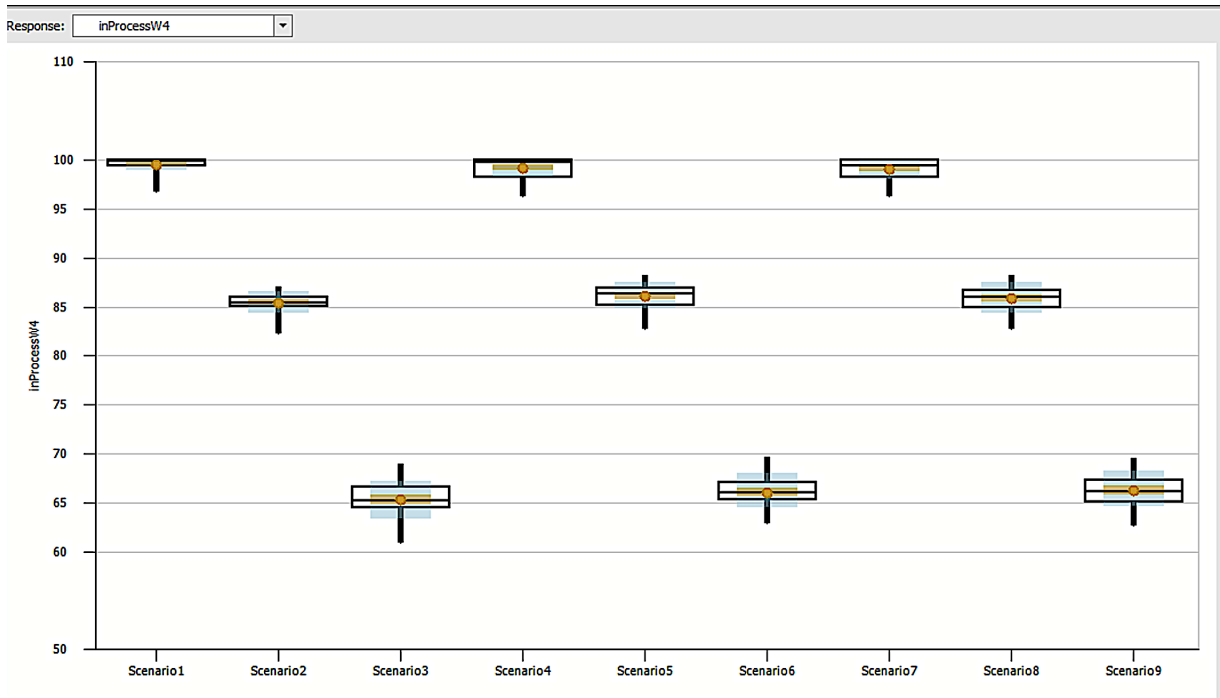


Figura 14. Resultado da análise W4

Fonte: próprio autor

Depois de analisados todos os dados, variações e todos os cenários com os respectivos impactos é possível identificar que o cenário ótimo da simulação é o cenário 1. O cenário 1 possui os parâmetros de menor variação, +/-5% de variação triangular e com unidades de cartão *kanban* apresentando A1, B1, e C1 iguais a 3, A2, B2 e C2 iguais a 2 e com os materiais A3, B3 e C3 iguais a 2 cartões.

O cenário 1 apresentou-se como solução do experimento nenhum tempo de espera dos clientes e possui 99.005 % de utilização do *workstation 3* e 99.551% de utilização do *workstation 4*. Comprovando a necessidade da boa utilização dos cartões *kanban* a fim de aumentar a eficiência do processo como exemplo as altas taxas de utilização das máquinas e atendimento da demanda do mercado.

Conclusões, Limitações e Futuras Linhas de Pesquisa

A simulação tem o intuito de realizar cenários virtuais dos processos, sem interferir ou interromper as atividades reais para o desenvolvimento da melhoria contínua e otimização dos postos de trabalho. A fim de se utilizar desta vantagem, o presente trabalho demonstrou como realizar uma simulação discreta com o sistema *Kanban* para otimizar a produção.

Para realização deste trabalho foram desenvolvidos modelos simples e complexos no software Simio, a fim de representar como os cartões *kanban* se movimentam na linha de produção. Foi percebido que esta movimentação é realizada através do sistema puxado, onde o processo é realizado a partir da demanda do cliente, ou seja, o processo só é realizado quando o processo sucessor consome todo o lote do produto e faz o pedido para que seu antecessor lhe forneça mais material para atendimento da demanda.

Além disso, foi preciso adicionar processos e parâmetros para que as *workstations* realizassem o modelo *kanban*, respeitando o quadro *kanban* no que se diz respeito a priorização de produtos em falta e a interrupção da produção, por não ser mais preciso material na linha.

Durante a realização deste trabalho se destacou a necessidade da compreensão da forma de inserir os parâmetros no software Simio, para que este evidenciasse a otimização do sistema simulado. Neste trabalho para alcançar os resultados foram criados 9 cenários com diferentes quantidades de cartões *kanban* e aumento da variação triangular do tempo de processamento, a fim de saber como seu o sistema se comportaria com estas alterações.

Os resultados encontrados foram os esperados de acordo com a literatura, visto que quanto há um processo nivelado, balanceado e com estoques de segurança suficientes para atender a demanda, o cliente não fica à espera do produto mesmo que haja uma variação no sistema. Este fato foi comprovado nos resultados dos cenários desenvolvidos no trabalho, visto que mesmo quando utilizado o tempo com maior variação, +/-5% na variação triangular dos tempos dos *workstations* 3 e 4 o tempo de espera de cliente é nulo.

Após a análise do estudo, é importante ressaltar que o simulador auxilia na simulação de um sistema otimizado. O método de otimização utilizada neste trabalho foi o sistema *kanban*, o qual controla os estoques por meio de cartões na linha de produção. Vale salientar que para chegar ao resultado ótimo através desse sistema, os cartões *kanban* não devem ser subdimensionados e nem sob dimensionados, caso isso ocorra acarretará na espera da demanda do mercado e na variação do sistema simulado.

Com relação a limitações do trabalho estas foram em perceber como o software Simio compreende o andamento do cartão *kanban*, suas configurações e parâmetros a serem dotados, para que a simulação represente a teoria descrita neste trabalho. É perceptível o quanto flexível o software é, e quantas variações podem ser imputadas para tornar cada vez mais real as simulações.

A sugestão para próximos trabalhos é realizar o aumento as variabilidades disponíveis no software Simio. Como, por exemplo, acrescentar tempos de transporte entre as estações de trabalho, inserir tempo de *setup* das máquinas e tempo de manutenção. Além disso há possibilidade aumentar a complexidade dos processos com mais produtos e mais estações de trabalho.

Referências

- Almeida, M. (2015). *Modelos de Simulação de Processos por Junção de Componentes*. Obtido em Março de 2019, de https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40303/1/Dissertacao_MIEGSI_Manuel_Almeida_a4757.pdf
- Araújo, L. E. (2009). *Nivelamento de Capacidade de Produção utilizando Quadros Heijunka em Sistemas Híbridos de Coordenação de Ordens de Produção*. Acesso em Maio de 2019, disponível em <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiUtePAk47hAhWF2uAKHSIxBcAQFjABegQIFhAB&url=http%3A%2F%2Fwww.periodicos.unc.br%2Findex.php%2Fagora%2Farticle%2Fdownload%2F765%2F558&usg=AOvVaw3zXGhh5ZgD-kZpxL7xhUM>
- Barroca, P. (2016). *Ambiente de simulação para sistemas de manufatura baseados em agentes*. Obtido em Março de 2019, de https://run.unl.pt/bitstream/10362/20592/1/Barroca_2016.pdf
- Bezerra, D. K. (2008). *Aplicação do método de nivelamento de produção e demanda em empresas de tipologia de produção ETO com baixo volume e alta diversidade de produtos*. Obtido em 2019 de Abril, de <http://hominiss.com.br/wp-content/uploads/2018/04/Aplicação-do-método-de-nivelamento-de-produção-ETO-com-baixo-volume-e-alta-diversidade-de-produtos.pdf>
- Dantas, C. (2016). *Estudo de Lean Thinking na área de Tecnologia da Informação*. Obtido em Outubro de 2019, de <https://liag.ft.unicamp.br/leanit/wp-content/uploads/sites/8/2017/05/5414VfinalTCCCibele.pdf>
- Devatz, W., & Herculani, R. (2017). *Just-In-Time In Management Of Production: Assessment Of Differences And Advantages In Quality And Reduction Of Costs In Confrontation With The Traditional System*. Obtido em Maio de 2019, de Revista Fafibe on-line.
- Justa, M., & Barreiros, N. (2009). Técnica de gestão do sistema toyota de produção. *Revista Gestão Industrial*, pp. 1-17.
- Kharin, D. (2018). Production Optimization Using Discrete Simulation. *Associação de Politécnicos do Norte (APNOR) Instituto Politécnico de Bragança* .

- Lemos, A. (1999). *Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional*. Obtido em março de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/30362306.pdf>
- Liker, J. (2005). *O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo*. Bookman; Edição: 1.
- Oliveira, P. A. (2008). *Simulação de processos em projectos de reengenharia organizacional*. Obtido em maio de 2019, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9919/1/Tese%20-%20Pedro%20Oliveira.pdf>.
- Pessanha, A., Filho, S., & Melo, N. (2011). *Estudo Da Aplicação Do Software Arena Em Um Contrato De Prestação De Serviço De Manutenção De Instrumentação*. Obtido em maio de 2019, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiqv8H45IniAhVmAGMBHUB3BAQQFjACegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.seer.perspectivasonline.com.br%2Findex.php%2Fexatas_e_engenharia%2Farticle%2Fdownload%2F157%2F88&usg=AOvVaw0WUSjU_IVFCq
- Plantullo, V. L. (1994). Um pouco além do Just-in-time: uma abordagem á teoria das restriões. *Revista de Administração de Empresas Artigos*, pp. 32-39.
- Poça, P. (2015). *Utilização de Modelos de Simulação para a Melhoria de um Sistema de Restauração – Estudo de Caso de uma Cantina Universitária*. Obtido em Março de 2019, de [repositorium.sdum.uminho.pt: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40171/1/Dissertação_MEI_Patr%C3%ADcia%20Poça_2015.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40171/1/Dissertação_MEI_Patr%C3%ADcia%20Poça_2015.pdf)
- Ramos, R., & Sato, S. (2018). *Lean Healthcare: Um Estudo Sobre A Adoção Das Ferramentas Da Produção Enxuta No Setor Hospitalar*. Obtido em maio de 2019, de Unoeste: http://www.unoeste.br/Areas/Eventos/Content/documentos/EventosAnais/352/Anais_2_2018.pdf#page=247
- Ricci, M. R. (2013). *Sistema Toyota de Produção: um estudo na linha de produção em uma indústria de ternos*. Obtido em maio de 2019, de http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1697/1/MD_COENP_%202013_1_17.PDF
- Rocha, P., & Marques, S. (2007). *Simulação de um Sistema Automático de Logística Interna para a Indústria de Calçado*. Obtido em março de 2019, de [https://repositorio-aberto.up.pt: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11399/1/Texto%20integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11399/1/Texto%20integral.pdf)
- Rosa, R. (2017). *Avaliação Da Distribuição Bootstrap Na Análise Dos Riscos Em Cronogramas De Projetos*. Obtido em Abril de 2019, de <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/46130/R%20-%20D%20-%20RUBENS%20JOSE%20ROSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Silva, M., Medeiros, C., Freire, A., & Monteiro, R. (2011). Modelagem E Simulação De Eventos Discretos Como Ferramenta Para Análise De Proposições De Otimizações Em Processos Industriais: O Caso De Uma Indústria De Computadores. *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, pp. 1-14. Obtido de XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- Simio. (2019). *Simio LLC*. Obtido em maio de 2019, de <https://www.simio.com/index.php>.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (2009) *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas.
- Smith, J., Sturrock, D., & David Kelton, w. (2017). *Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications*. 4 edição.
- Thielmann, R., Rodrigues, G., Lima, R., & Paiva, R. (2015). Análise e comparação kanban tradicional e variações: um estudo de caso sobre montadorean de v eículos. *Congresso Nacional em Excelência em Gestão*, pp. 1-19.
- Weiss, J. (2015). *Análise Dos Fatores Para Implantação Do Sistema Kanban Em Uma Empresa Cerâmica De Rio Negrinho, Sc*.