

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**BRUNO ALEXANDRE OLIVEIRA**

**PROPOSTA DE MELHORIAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE  
CONCEITOS DO *LEAN MANUFACTURING* E SIMULAÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2016**

**BRUNO ALEXANDRE OLIVEIRA**

**PROPOSTA DE MELHORIAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE  
CONCEITOS DO *LEAN* MANUFACTURING E SIMULAÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial á obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luís Mauricio Martins De Resende.

Co-Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

**PONTA GROSSA**

**2016**



Ministério da Educação  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ  
CÂMPUS PONTA GROSSA  
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



## TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

### PROPOSTA DE MELHORIA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE CONCEITOS DO LEAN MANUFACTURING E SIMULAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE.

Por

**BRUNO ALEXANDRE OLIVEIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 11 de maio de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.<sup>a</sup>. Dr. *Luis Mauricio de Resende*  
Prof.<sup>a</sup>. Orientador

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. *Joseane Pontes*  
Membro titular

Prof. Dr. *Juan Carlos Claros Garcia*  
Membro titular

Dedico este trabalho á minha família  
pelos momentos de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido a chance de cursar uma universidade e ter me concedido saúde, força, inteligência e capacidade para vencer esse desafio.

A toda a minha família pelo apoio incondicional e a acolhida em todas as vezes que estive junto deles.

Aos meus pais que fizeram de tudo para que fosse possível a estadia em Ponta Grossa durante o período de estudo.

A minha noiva por seu amor, sua compreensão e seu apoio em todos os momentos, principalmente os de dificuldade e fraqueza. Também por ser minha companheira desde o início de tudo e acreditar em mim e em meu potencial.

Ao professor Luís Mauricio Martins de Resende e ao professor Rui Tadashi Yoshino por todas as conversas e conselhos sobre o trabalho de conclusão e o futuro pós-formado.

Por fim, aos amigos que me apoiaram sempre e que muitas vezes até mesmo em conversas informais contribuíram com idéias para a realização deste trabalho.

## RESUMO

OLIVEIRA, Bruno Alexandre. Proposta de melhorias através da aplicação de conceitos do *lean manufacturing* e simulação em uma indústria de celulose e papel. 2015. 79 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

A evolução das tecnologias e o desenvolvimento dos sistemas de produção no decorrer dos anos reforçam cada vez mais a necessidade de se buscar reduzir e eliminar desperdícios decorrentes do processo produtivo. Ao considerar-se indústrias de celulose e papel, as quais trabalham no sistema contínuo, produzindo por bateladas, verifica-se que o setor ainda pouco utiliza a filosofia *lean*, ora devido á dificuldades de implantação seja por dificuldade de adaptação da filosofia a um sistema contínuo de produção. Considerando este cenário, este trabalho tem como objetivo propor melhorias utilizando os conceitos de produção enxuta que possam otimizar uma linha de produção principalmente através da redução de desperdícios na empresa em estudo, uma indústria brasileira de celulose e papel a qual possui sua principal unidade localizada em Telêmaco Borba – PR. Para isso, houve a necessidade de se aprofundar o conhecimento e o entendimento sobre as técnicas e ferramentas utilizadas na produção enxuta com o intuito de identificar e assim então buscar a melhoria na linha de produção da organização em estudo. Foram obtidos ótimos resultados em termos de métricas *lean*, fluidez de processo e ganhos operacionais que comprovaram a eficiência da metodologia proposta e reforçam a flexibilidade de aplicação do pensamento enxuto.

**Palavras-chave:** Produção Enxuta. Simulação. Indústria de celulose e papel. Desperdício. Melhorias.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Bruno Alexandre. *A Proposal of improvements through the lean manufacturing concepts application and simulation in a Pulp and Paper industry*. 2015. 79 pages. Final Paper. Bachelor Degree in Production Engineering - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2016.

*The evolution of technology and the development of production systems over the years increasingly reinforce the need to seek to reduce and eliminate waste resulting from the production process. Considering the Pulp and Paper industries which work in the continuous system by batches, is possible to verify that this sector still has been explored superficially the lean philosophy, due the difficulties with implementations. Considering this scenario the main objective is to propose improvements using lean manufacturing concepts that can optimize a production line mainly by reducing waste in the company under study, a Brazilian Pulp and Paper industry which the main plant is located in Telêmaco Borba – PR. In reason of this, was necessary a deepen knowledge and understanding of the techniques and tools used in lean manufacturing in order to identify and seek the production line improvement in the company. Were obtained excellent results in terms of lean metrics, process flow and operational gains that have proven the effectiveness of the proposed methodology and reinforce the application flexibility of lean thinking.*

**Keywords:** *Lean Manufacturing. Simulation. Pulp and Paper industry. Waste. Improvement.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comparativo entre produção artesanal e produção em massa .....	14
Figura 2 - Enfoque da produção enxuta .....	17
Figura 3 – Casa do Sistema Toyota de Produção (TPS) .....	20
Figura 4 - Esquema de funcionamento do Kanban e Supermercado .....	22
Figura 5 - Onde deve ser inserido o supermercado no fluxo de valor .....	22
Figura 6 - Pilares do TPM.....	25
Figura 7– Estágios da metodologia SMED.....	27
Figura 8 – Mapa de Fluxo de Valor .....	28
Figura 9 - Esquema para realização do mapeamento de fluxo de valor. ....	29
Figura 10 - Principais dificuldades para implementar a Produção Enxuta .....	31
Figura 11 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.....	35
Figura 12 - Gráfico do crescimento da produção de Celulose e papel no Brasil .....	37
Figura 13 - Processo de fabricação de papel (Indústrias dentro da Indústria de papel) .....	41
Figura 14 - Fluxograma de etapas da metodologia .....	39
Figura 15 - Extrato do fluxograma de produção de papel em estudo.....	43
Figura 16 - Esquema do ciclo completo para processamento de um rolo jumbo na etapa de rebobinamento .....	44
Figura 17 - Boxplot de comparação entre turmas e teste de Tukey para resultados obtidos entre tiradas.....	45
Figura 18 - Boxplot de comparação entre turmas e teste de Tukey para resultados obtidos em troca de Rolo Jumbo.....	45
Figura 19 - Boxplot de comparação entre turnos e teste de Tukey para resultados entre tiradas .....	46
Figura 20 - Boxplot de comparação entre turnos e teste de Tukey para resultados obtidos em troca de Rolo Jumbo.....	46
Figura 21 - Composição do tempo padrão adotado para o ciclo completo de Rebobinadeira .....	47
Figura 22 - Rolo Jumbo retirado da linha por falta de espaço .....	49
Figura 23 - Seção de rebobinamento e corte .....	49
Figura 24 - Bobinas acumuladas em processo .....	50
Figura 25 - Estoques com restrição de qualidade .....	51
Figura 26 - Dias de cobertura (estoque de produto acabado LPB) .....	52
Figura 27 – Funcionamento sistema de colagem automática .....	53
Figura 28 - Evolução do estoque Geral e Proposta.....	58
Figura 29 - Modelo de simulação .....	60
Figura 30 - Simulação cenário 1 estado atual .....	62
Figura 31 - Simulação cenário 2 estado futuro .....	63
Figura 32 - Travel Chart rebobinadeira .....	64
Figura 33 - Visualização operação da rebobinadeira em relação a ergonomia.....	65



## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

**AV** - AGREGAÇÃO DE VALOR

**FIFO** – *FIRST IN FIRST OUT*

**JIT** - *JUST IN TIME*

**LPB** - *LIQUID PACKAGING BOARD* (PAPEL PARA EMBALAGEM DE LIQUIDOS)

**MFV** - MAPA DE FLUXO DE VALOR

**MRP** – MATERIALS REQUIREMENT PLANNING

**MP** – MAQUINA DE PAPEL

**NAV** - NÃO AGREGAÇÃO DE VALOR

**OEE** - *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS*

**PCP** – PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

**PPAV** – PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO E AUXILIO A VENDAS

**RB** - REBOBINADEIRA

**SMED** - *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE* (TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS / *SETUP* RÁPIDO)

**TAV** - TEMPO DE AGREGAÇÃO DE VALOR

**TC** - TEMPO DE CICLO

**TNAV** - TEMPO DE NÃO AGRAGAÇÃO DE VALOR

**TPM** - *TOTAL PRODUCTION MAINTENANCE*

**TPS** - *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM (LEAN MANUFACTURING)*

**VSM** - *VALUE STREAM MAPPING*

**WIP** - *WORK IN PROCESS* (ESTOQUE EM PROCESSO)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.2.1 Objetivo Geral .....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 JUSTIFICATIVA .....	10
<b>2 REFERENCIAL BIBLIOGRAFICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....	12
2.1.1 Produção Artesanal.....	12
2.1.2 Produção em Massa .....	13
2.1.3 Produção Enxuta.....	15
2.2 <i>LEAN MANUFACTURING</i> , O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO .....	16
2.2.1 Os Oito Desperdícios .....	17
2.2.2 Os Cinco Princípios da Mentalidade <i>Lean</i> .....	18
2.3 FERRAMENTAS E PRÁTICAS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> .....	20
2.3.1 5S - Criando uma base para a implantação TPS .....	20
2.3.2 <i>Just in Time</i> - A produção puxada, nivelada e o sistema <i>Kanban</i> .....	20
2.3.3 Jidoka (autonomação).....	23
2.3.4 Manutenção Produtiva Total (TPM).....	24
2.3.5 SMED (Troca rápida de ferramentas) .....	26
2.3.6 Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) .....	27
2.4 APLICACOES E DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA ...	30
2.5 SIMULAÇÃO NA GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....	32
2.6 SIMULAÇÃO COMO SUPORTE AO <i>LEAN MANUFACTURING</i> .....	33
2.6.1 Etapas para implementação da simulação.....	34
2.7 A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL.....	35
2.7.1 A situação e a importância da indústria de celulose e papel no Brasil .....	36
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	38
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E OBJETO DE ESTUDO .... <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
3.3 ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	38
<b>4. ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>41</b>
4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS E DEFINIÇÕES DE TEMPOS DE CICLO .....	43

4.2 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL .....	47
4.3 IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS.....	48
4.4 PROPOSTAS PARA MELHORIA E REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS .....	53
4.5 MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO .....	59
4.6 IMPLEMENTAÇÃO VIA SIMULAÇÃO.....	59
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>61</b>
5.1 MÉTRICAS LEAN .....	61
5.2 FLUIDEZ DO PROCESSO (ELIMINAÇÃO DE FILAS) .....	61
5.3 GANHOS OPERACIONAIS E QUALITATIVOS .....	63
5.3.1 Ganhos Operacionais Projeto One Step .....	63
5.3.2 Ganhos Operacionais Gerais.....	65
5.3.3 Outros Ganhos Qualitativos .....	65
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE A - MAPA DO ESTADO ATUAL .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE B – MAPA DO ESTADO ATUAL C/ INDICAÇÃO DAS MELHORIAS..</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE C – MAPA ESTADO FUTURO (PROPOSTAS) .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais (2016) e desde a virada de século, mundialmente tem-se presenciado a evolução constante das tecnologias, a globalização e a cada vez mais acirrada competição, visando não somente a liderança de mercado, mas muitas vezes a sobrevivência dentro deles em tempos de crise. Existe uma busca incansável pelo aumento da eficiência em cada etapa dos processos produtivos, fato que pode ser atribuído à busca por melhorias em toda a cadeia produtiva, que tem como objetivo andar em direção a um aperfeiçoamento global. Esse cenário faz com que o desenvolvimento de novos métodos e melhorias em processos se tornem cada vez mais fatores decisivos e diferenciais para a estratégia de planejamento e ação de uma empresa.

Embora seja recente essa percepção da busca por melhorias, e da competitividade em termos gerais, segundo Womack *et al.* (1990), considera-se que desde Henry Ford e seu tão conhecido Modelo A, os fabricantes de automóveis começavam a enxergar a necessidade de melhorar, buscando principalmente alternativas relacionadas à produtividade. Através deste pensamento a *Toyota Motor Company*, que até os anos 50 não tinha condições de competir com as grandes indústrias automobilísticas americanas, iniciou um grande trabalho de melhoria de processo e aumento de eficiência em relação à produtividade de seus automóveis, trazendo à tona uma filosofia de trabalho inovadora baseada na eliminação consistente de desperdícios, o *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta).

Em relação a desperdícios, Nakagawa (1993) classifica-os como todas as formas de custo que de fato não adicionam nenhum valor ao produto. Como complemento, Borna (1995) argumenta que além de não adicionar nenhum valor aos produtos os desperdícios são desnecessários ao trabalho efetivo, sendo que em inúmeras vezes podem até reduzir o valor destes produtos.

Ao trabalhar-se sob os conceitos de mentalidade enxuta na ótica de Womack e Jones (1996), desperdícios podem ser definidos como toda e qualquer atividade que absorve recursos e não gera nenhum valor. Dessa forma, o pensamento enxuto se mostra um poderoso método para eliminação de todos os tipos de desperdícios, pois ele consiste em estudar a fundo o processo visando alterações, para que se produza

mais com menos recursos, com isso gerando impactos significantes ao cliente final oferecendo exatamente o que ele deseja e quando ele deseja.

Ao considerar os efeitos gerados pela aplicação correta do *Lean Manufacturing*, claramente pode-se perceber que os mesmos não são gerados apenas sobre o processo produtivo, mas também acerca do planejamento, facilitando o papel dos tomadores de decisão, equipando-os com possibilidades e vantagens competitivas, ou seja, aumentando a competitividade da empresa. Slack *et al.* (2010), tratam essas vantagens competitivas como a possibilidade de “fazer melhor”, porém para isso é necessário que se tenha como objetivos de desempenho: Fazer de maneira correta, com rapidez, de forma pontual, o mais barato possível e buscar estar preparado para realizar alterações.

Tendo em vista esses objetivos de desempenho, percebe-se que na realidade o entendimento da metodologia do Sistema Toyota de Produção (TPS) é simples, entretanto sua aplicação é extremamente complexa já que para o bom andamento das devidas alterações e implantação de conceitos depende-se muito da cultura das empresas e do capital humano e suas variações. Sendo assim, é necessário que se realize constantes reciclagens para que a mentalidade enxuta possa fluir naturalmente dentro da organização. Visando facilitar essa aplicação, a utilização de tecnologias é essencial e nesse sentido a opção pela simulação como ferramenta auxiliar vem para trazer maiores níveis de confiabilidade às alterações necessárias.

Portanto este trabalho não visa atuar na parte técnica da produção estudada, mas sim na aplicação dos conceitos de gestão, especificamente os conceitos de gestão da produção enxuta sobre o processo e pessoas que são extremamente importantes para as indústrias que desejam se manter no mercado.

Ao estabelecer foco sobre uma indústria do setor de celulose e papel a qual não explora profundamente a ótica *lean*, deseja-se adaptar a visão de processo a mentalidade *lean* e responder a seguinte questão: Que melhorias referentes a processo e planejamento podem ser alcançadas ao se combinar conceitos do *lean manufacturing* e simulação em uma linha de produção de uma indústria do setor de celulose e papel?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor melhorias para o processo de produção de papel em uma linha de produtos específica através da aplicação dos conceitos do *lean manufacturing* e de simulação.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral mencionado anteriormente, se faz necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o fluxo de valor atual da linha em estudo;
- Identificar os processos críticos e possíveis melhorias através da análise dos Mapas de Fluxo de Valor;
- Apontar melhorias em mapas de fluxo de valor futuros;
- Utilizar simulação de processos como agente auxiliar, verificando a efetividade de mudanças propostas que o mapa de fluxo de valor não consegue demonstrar.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Empresas em geral precisam buscar melhorias contínuas para aumentar sua competitividade no mercado. Essa necessidade se torna ainda mais evidente ao falar-se de grandes empresas em tempos de crise, onde toda e qualquer oportunidade pode se tornar diferencial. Nesse sentido, há necessidade de um profundo conhecimento sobre os processos, possibilitando identificar, planejar e implementar melhorias, aproveitando oportunidades e reduzindo perdas.

Para que seja possível determinar pontos de ação, é necessário enxergar claramente como se desenvolve o fluxo de valor no sistema estudado e a eficiência deste processo é garantida através do mapeamento de processos. Tal ferramenta permite documentar todos os elementos que fazem parte do processo e que, se aplicada de maneira correta, sob os conceitos e técnicas do *lean manufacturing*,

permite mudanças direcionadas á otimização da produção. Suas ações são pautadas principalmente na redução do tempo de processamento (*lead time*) e desperdícios, tendo sua eficácia comprovada no decorrer dos anos através de suas diversas aplicações em inúmeras companhias, o que vem motivando cada vez mais o seu uso.

Outra grande motivação que norteia o estudo é a premissa de que ao se atuar sobre o processo com a visão de otimizá-lo, grande parte do impacto gerado pelos resultados se reflete sobre o planejamento da produção, facilitando a tomada de decisões e permitindo obter vantagens significativas para empresa, tais como: redução de custos, segurança quanto ao horizonte de planejamento, aumento do nível de serviço aos clientes e diminuição de retrabalho dentre outros.

Constata-se também nesse ambiente que ao decorrer dos anos tem sido constante a utilização da tecnologia na gestão da produção. Um grande exemplo é a simulação de processos que permite aos responsáveis tomar decisões com maior grau de assertividade, bem como, correr menores riscos na implementação de melhorias. Este fato faz com que as empresas que não se utilizam desses recursos percam força em mercados competitivos.

A realização de trabalhos que apontem dificuldades e vantagens da implantação da filosofia enxuta e também da simulação como agente de suporte nesse processo, podem vir a contribuir significativamente sobre a competitividade e no aperfeiçoamento da dinâmica de implantação dessa filosofia.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRAFICO

### 2.1 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O avanço tecnológico e o desenvolvimento do conhecimento humano não são suficientes para garantir a eficiência e a eficácia de atividades se não for executada uma administração de qualidade possibilitando que sejam aplicados de forma efetiva os recursos materiais e humanos (CHIAVENATO, 2004). Nesse sentido se deu a evolução das técnicas de produção e da organização do trabalho em geral a favor de uma maior produtividade ao longo dos anos, podendo ser dividida em três grandes esferas em relação aos sistemas de produção: produção artesanal, produção em massa e produção enxuta.

#### 2.1.1 Produção Artesanal

De acordo com Womack *et al.* (1990), a produção artesanal é o sistema que dá início à evolução dos sistemas de produção. Apesar de existir há séculos, por volta de 1880 teve seu ápice nas indústrias automobilísticas dando origem ao termo manufatura, uma vez que o trabalho nesse sistema é extremamente manual. Este sistema de produção é marcado por características singulares que giram exclusivamente em torno do artesão, que é a peça chave, e realiza todas as operações do processo, seja para uma produção artesanal caseira onde o artesão trabalha para si próprio ou numa produção artesanal conjunta. Essa pode surgir em face ao grande número de encomendas onde vários artesãos se reúnem realizando apenas trabalhos de acabamento e contratam ajudantes para realizar trabalhos mais grosseiros, estes aprendem e mais tarde se tornam artesãos (MARTINS E LAUGENI, 2005).

O artesão nesse sistema de produção é aquele que possui todo o conhecimento sobre a tecnologia e sobre o processo, possui toda a capacidade criativa e habilidade em suas mãos. Além de tudo isso, atribui-se ao artesão o total comprometimento com o trabalho e o conhecimento das necessidades dos clientes, por estar envolvido com todas as atividades desde a compra da matéria prima até a entrega do produto final. A grande vantagem deste tipo de produção se dá em relação



à flexibilização, pois o produto final pode ser manufaturado de acordo com as mais diversas especificações do cliente final. Por outro lado, o tempo de fabricação é elevado, encarecendo o preço final do produto e tornando-o pouco atrativo. No modelo de produção artesanal em ambiente fabril, que veio logo em seguida, também pode-se verificar ao longo dos tempos uma grande desvantagem quanto à relação entre empregador e empregado, onde o empregador muitas vezes torna-se refém do empregado artesão, que em virtude de possuir todo o conhecimento da produção, trabalha da maneira que lhe convém. Atualmente ainda existem empresas que trabalham neste sistema de produção, porém focadas em nichos de mercado específicos.

### 2.1.2 Produção em Massa

A produção em massa surge com o principal propósito de produzir em grande escala produtos padronizados, visando menores custos de produção. A grande percursora deste sistema é a indústria automotiva representada por Henry Ford, que ao implantar novos métodos de trabalho em suas fábricas até então artesanais no início do século XX, adotando um princípio basicamente taylorista de separação entre trabalho intelectual e trabalho manual, derrubou a produção artesanal que até então era predominante até mesmo na indústria automobilística (GORENDER, 1997).

Conforme Martins e Laugeni (2005), os conceitos que Ford trouxe revolucionaram de forma única toda a história da indústria por conseguir de forma inédita, desenvolver procedimentos e processos produtivos que não apenas reduziam os custos de produção, mas traziam benefícios aos clientes, fator que garantiu o crescimento de seu negócio. Os mesmos autores ainda afirmam que essa busca por melhorias de produtividade por meio de novas técnicas foi denominada engenharia industrial.

Diferentemente da produção artesanal, na produção em massa os trabalhadores foram estimulados a não pensar, a mão de obra fabril é altamente especializada com operadores realizando sempre as mesmas tarefas, muitas vezes rotineiras e tornando-as desinteressantes. Nas grandes montadoras isso foi visto principalmente através das esteiras de montagem que permitiram as atividades serem parceladas (figura 1). Com grandes quantidades de operadores, devido à necessidade de se ter um operador especializado para cada etapa na linha de produção, todos

trabalhando ao mesmo tempo, a produção em massa apresenta seus resultados relacionados à redução de tempo de produção, diferentemente do que acontecia na produção artesanal, onde um operador era responsável por todas as atividades, e conseqüentemente o tempo era elevado.

Quanto às principais características do sistema de produção em massa ressalta-se a economia de escala, que reduz o custo dos automóveis, porém padroniza os produtos e minimiza a flexibilidade dos mesmos bem como sua condução chamada empurrada, onde a empresa compra grandes lotes de matéria-prima, estocando-os, e por sua vez garantindo altos volumes de produção mesmo que não haja demanda, com o intuito de assegurar que em havendo grandes pedidos o cliente sempre seja atendido, pois o planejamento de materiais é feito através de previsões (WOMACK *et al.*, 1990).

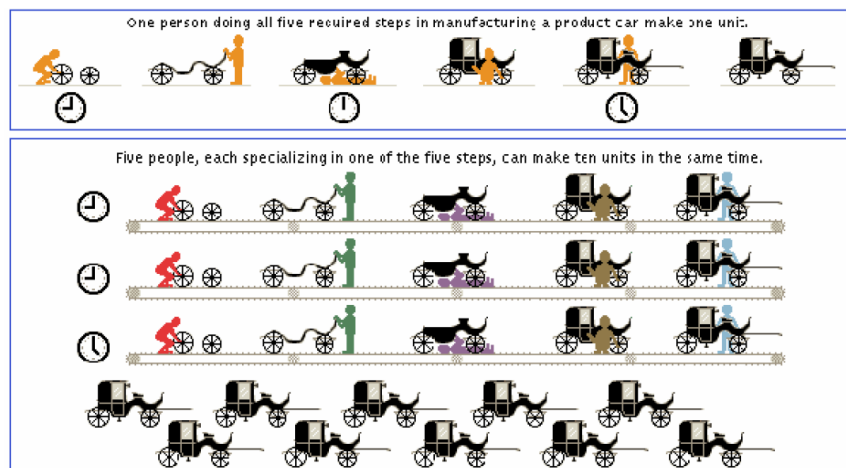


Figura 1 – Comparativo entre produção artesanal e produção em massa  
Fonte: Pereira, D. (2001).

Este sistema alcançou seu auge, primeiro nos EUA e após alcançou a Europa e América Latina. Como esperado por Ford, ao produzir em massa, acabou estimulando o consumo em massa. Apesar desse modelo adotado pela indústria americana ter sido dominante até os anos 60, desde os anos 20 vinha sendo contestado tecnicamente e principalmente socialmente devido às péssimas condições de trabalho no “chão de fábrica” e razões associadas a doenças do trabalho (GRAÇA, 2002).

Devido às várias contestações levantadas sobre o fordismo e um período economicamente desfavorável, em função da saturação do mercado e aumento da competição internacional que trouxe à tona preço, qualidade e *design* como agentes

de competição, iniciou-se então uma reestruturação após a 2ª Guerra. Surgiram também outras grandes indústrias como a General Motors (GM) e Volvo, ainda utilizando os princípios de produção em massa, porém flexibilizando seus modelos, atendendo cores diferentes e uma variedade maior em modelos, o que mudou de certa forma o cenário de competição. A concorrência foi ainda maior com a entrada de produtores de automóveis japoneses no mercado o que colocou sob questionamento o domínio das empresas ocidentais. Diante desses acontecimentos surgem diversas tentativas de solucionar os problemas que o sistema fordista apresentava (GORENDER, 1997).

### 2.1.3 Produção Enxuta

Apesar de ter surgido com enorme força apenas no pós-guerra aproveitando as condições de mercado geradas pela crise do petróleo, a Toyota foi criada pela família japonesa Toyoda em 1937, sendo conhecida como a mais japonesa de todas as indústrias automobilísticas do Japão. Enfrentou inúmeras dificuldades, desde fracassos gerenciais até mesmo a resistência por parte do governo, que lhe impedia de produzir carros de passeio, obrigando-a a produzir caminhões, muitas vezes com métodos artesanais, por um esforço fracassado de guerra. As diferenças entre a então dominante Ford e a Toyota em 1950 eram absurdas, enquanto em 13 anos a empresa japonesa com muito esforço havia produzido 2.685 automóveis, a fábrica Rouge da Ford atingia a marca de 7.000 automóveis em um só dia (WOMACK *et al.*, 1990).

A fim de entender o sistema de produção e melhorar seu desempenho, a família Toyoda, desde o início de sua companhia já realizava visitas à Ford. O engenheiro Eiji Toyoda estudou o sistema de produção e atribuiu a difícil tarefa de colocá-lo em prática no Japão à Taichi Ohno engenheiro de produção da Toyota. Ainda segundo Womack *et al.* (1990), Ohno tinha uma visão sobre produção além de sua época e percebeu que seria impossível obter sucesso com o sistema de produção em massa no Japão, visto que o modelo era criado para produzir grandes lotes e com pouca variedade de modelos. Em contrapartida, a Toyota com baixa demanda e um mercado cheio de incertezas, precisava produzir vários modelos em uma mesma linha de montagem, ou seja, Ohno enxergou a necessidade de realizar uma adaptação ao modelo Ford objetivando atingir alta produtividade, qualidade, baixo custo, flexibilidade, *lead time* menor e tudo isso com uma economia de escala. Baseando

nisso, Ohno deu início a criação de um sistema de produção enxuto que ficou conhecido inicialmente como sistema Toyota de produção.

O que de fato foi determinante para à criação desse novo sistema de produção foi a percepção de Ohno (1997), enxergando que o sistema de produção em massa gerava uma série de desperdícios ao longo de sua cadeia produtiva. O seu sistema foi então concebido sobre o foco de eliminar desperdícios ou atividades que não agregam valor (ANV).

## 2.2 LEAN MANUFACTURING, O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O sistema de produção enxuta é definido como um sistema de manufatura que tem como objetivo otimizar os processos e procedimentos através de uma redução contínua de desperdícios, tendo como objetivo fundamental a busca pela qualidade, flexibilidade do processo e aumento da produtividade visando uma boa posição para a competição em um cenário de globalização (NAZARENO *et al.*, 2001). Tendo como base essas premissas, deve-se atentar para que não haja confusão entre manufatura enxuta e *Just in Time* (JIT), uma vez que o JIT é uma das ferramentas da manufatura enxuta (OHNO, 1997).

Ao longo do desenvolvimento do TPS, várias são as provisões necessárias para que seja criado um ambiente JIT, onde se estabeleça um fluxo contínuo rápido e para que de fato o processo atinja um nível de confiabilidade capaz de garantir a produção somente no momento em que o cliente solicitar. Desta forma, o TPS é muito mais abrangente do que somente produzir a quantidade certa na hora certa (JIT), pois várias outras técnicas fazem parte dessa filosofia (LIKER, 2005).

Ohno (1997), é claro ao mencionar que a sustentação da produção enxuta está na busca pela redução do tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto, removendo sistematicamente os desperdícios que não agregam valor. Hines e Taylor (2000), complementam essa afirmação, classificando os tipos de atividade da seguinte forma:

- **Atividades que agregam valor (AV)** – São aquelas que são reconhecidas pelo cliente e tornam o produto/serviço mais valioso. Correspondem a aproximadamente 5% das atividades;

- **Atividades que não agregam valor (ANV)** – São aquelas que o cliente não reconhece como importantes e, portanto, não tornam o produto melhor ou pior, são vistas como desnecessárias e correspondem a cerca de 60% das atividades;
- **Atividades necessárias, mas que não agregam valor** – São aquelas que aos olhos do cliente não tornam o produto mais valioso, porém são necessárias e correspondem a cerca de 35% das atividades.

Os mesmos autores em sua pesquisa ainda afirmam que todas as manufaturas típicas possuem atividades que agregam valor e atividades que não agregam valor, e ao considerar por sua definição acima, há uma imensa gama de ANV, possibilitando o enfoque para as ações de melhoria na produção enxuta, conforme ilustrado na figura 2.

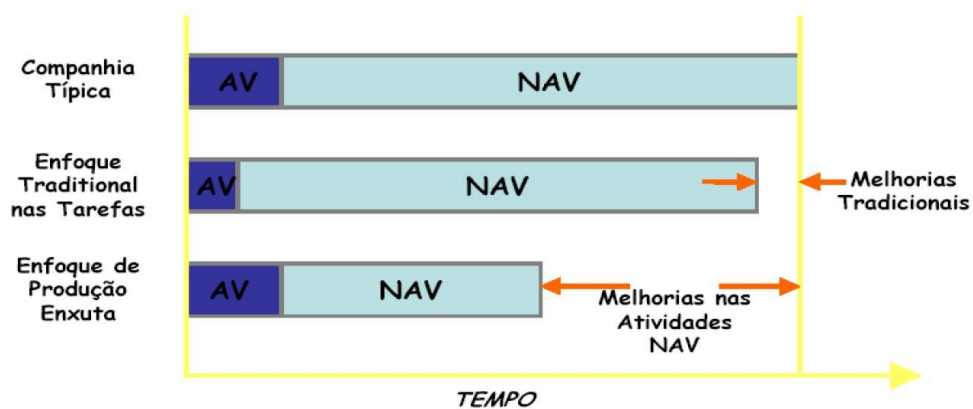


Figura 2 - Enfoque da produção enxuta  
Fonte: Hines e Taylor (2000).

Ao focar-se sobre as ANV, as medidas tomadas na produção enxuta visam acima de tudo a eliminação de perdas, tornando um ponto importante levantado por Ghinato (1996), a diferença fundamental entre os termos perda e desperdício:

**Perda:** Utilizar de forma ineficaz um recurso, ao longo da cadeia de valor na produção de um produto/serviço;

**Desperdício:** Extravio, em geral não intencional, que ocorre muitas vezes por simples negligência ou ainda atividades que absorvem recursos, mas não criam valor.

### 2.2.1 Os Oito Desperdícios

Considerando a definição atribuída a perdas e tomando desperdício como sinônimo, Ohno (1997) ressalta que é necessário que se tenha um entendimento real desse conceito, para que seja possível combater, detectar e eliminá-los por completo.

Sendo assim Ohno (1997), classifica os desperdícios em sete categorias, sendo que Liker (2005), após observação acrescenta uma oitava categoria:

**1. Desperdício por Superprodução** – Ocorre devido a produção sem que haja uma efetiva demanda, o que é ocasionado normalmente no sistema de produção empurrada;

**2. Desperdício por Espera** – Ocorre no processo quando uma atividade anterior não foi realizada no prazo, gera espera para operação e conseqüentemente gera espera ao cliente final e um impacto sobre o *lead time* do processo;

**3. Desperdício por Transporte** – Se dá através de movimentações desnecessárias do material nas diversas etapas do processo;

**4. Desperdício por Processamento** – Acontece quando se inclui etapas no processo que não são valorizadas pelo cliente;

**5. Desperdício por Estoque** – Acontece na forma de acúmulo de matéria prima, estoques entre etapas do processo e até mesmo produto final, oriundos de um processo onde o fluxo não é planejado e a demanda é dada através de previsões geralmente, esse tipo de desperdício é um dos mais graves;

**6. Desperdício por Movimentação** – É a movimentação excessiva de operadores e materiais sem necessidade, acabam impactando no fluir do processo;

**7. Desperdício por produção defeituosa** – São causados por erros na produção e geram retrabalho, impactando diretamente nos custos da empresa;

**8. Desperdício de Criatividade** – Ocorre devido à falta de incentivo participação do funcionário com suas habilidades, como consequência há uma menor possibilidade de aprendizado e aplicação de melhorias no processo.

Arunagiri e Gnanavelbabu (2014), revelam em pesquisa com foco na indústria automotiva, que dentre os desperdícios acima classificados, três se destacam: Desperdício por movimentação, por espera e transporte.

### 2.2.2 Os Cinco Princípios da Mentalidade *Lean*

Ter o conhecimento sobre os tipos de desperdício e a classificação das atividades conforme a visão do cliente, são premissas essenciais dentro da filosofia *lean*, buscando organizar as atividades na melhor sequência possível, com menor esforço humano, menor quantidade de equipamentos, menos estoques, menor tempo e menos espaço. Para tanto, de acordo com Womack e Jones (1996), existem princípios que guiam a mentalidade enxuta, auxiliando na eliminação dos desperdícios, sendo eles:

- **Valor** – Definido pelo cliente, o valor é o ponto de partida do pensamento enxuto, visando não correr riscos em consumir recursos, e concentrar esforços produzindo algo que o cliente não deseja. Definir quais são as necessidades reais do cliente é papel da empresa, que deve buscar satisfazê-lo, mantendo-se competitiva em termos de preço e procurando estar sempre em melhoria contínua;

- **Cadeia de Valor** – Em seguida deve-se buscar uma visão geral, caracterizando as AV, ANV e as atividades que não geram valor, porém são necessárias. A cadeia de valor é o princípio de que se deve eliminar todas as etapas de um processo que não geram valor (ANV).

- **Fluxo de Valor Enxuto** – Após a definição das atividades e eliminação das ANV, deve-se buscar o fluir das etapas que geram valor ao produto (AV), esse é chamado fluxo de valor enxuto. As mudanças requeridas nessa etapa são radicais e envolvem diretamente o comportamento das pessoas envolvidas no processo. A empresa deve se tornar hábil a desenvolver, manufaturar e realizar a distribuição dos produtos com rapidez, sem filas sem a realização de movimentos desnecessários, para atender os clientes de forma quase que instantânea;

- **Produção Puxada** – Nesse processo o cliente é quem puxa a produção, diferentemente da produção empurrada. A partir do acionamento do cliente através da realização do pedido, os processos finais são requeridos e assim geram as necessidades aos anteriores. Nesta forma de produção, os desperdícios referentes à superprodução e aos estoques (de matérias primas, intermediário e de produto acabado) são eliminados;

- **Perfeição** - O último princípio é de fato a busca pela perfeição, uma vez que todos os outros princípios forem alcançados, será mais simples enxergar inúmeras oportunidades de melhoria, possibilitando cada vez mais a empresa alcançar os resultados esperados pelo cliente.

Para a implantação da produção enxuta, conforme Shah e Ward (2003), deve-se trabalhar com diversas ferramentas, práticas gerenciais e com a mentalidade *lean* de forma integrada. Busca-se atingir os objetivos, apoiando-se sobre as práticas estabelecidas pelos pilares do JIT e do *Jidoka* (autonomação). Há uma constante aplicação de ferramentas que estruturam e garantem o funcionamento desses pilares e uma interação constante com o *Kaizen* (melhoria contínua), pautados sobre a padronização do trabalho e o nivelamento da produção (*heijunka box*), como pode-se verificar na casa do TPS, ilustrada na figura 3.

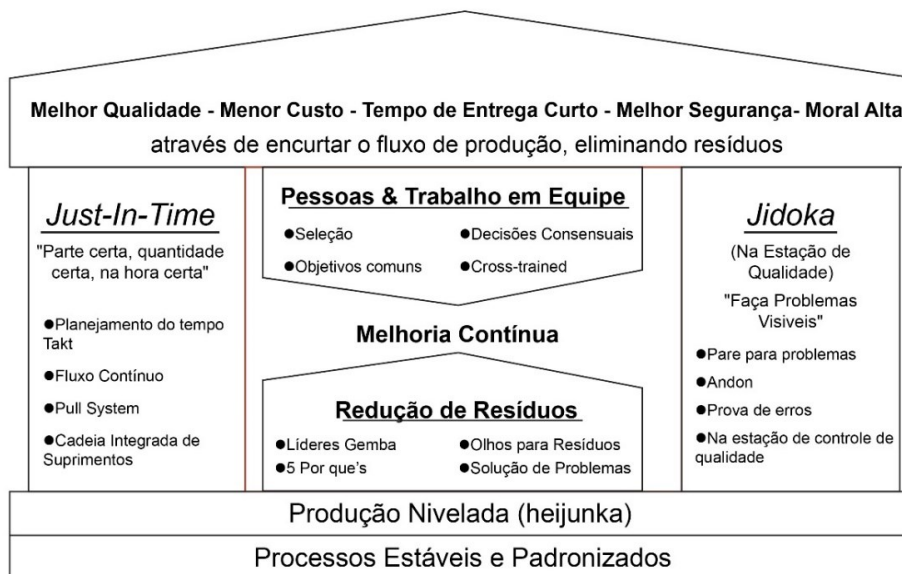


Figura 3 – Casa do Sistema Toyota de Produção (TPS)  
Fonte: Adaptado The Toyota Way Liker (2005).

## 2.3 FERRAMENTAS E PRÁTICAS DO LEAN MANUFACTURING

A fim de sustentar a mentalidade enxuta, garantindo a identificação e eliminação de desperdícios, algumas ferramentas e práticas devem ser aplicadas, as principais delas descritas a seguir.

### 2.3.1 5S - Criando uma base para a implantação TPS

O 5S é um programa composto por cinco pilares que procuram reduzir os desperdícios e aumentar a produtividade através de uma melhor organização dos postos de trabalho. Ribeiro (1994), afirma que de fato essa ferramenta é uma base para a empresa, preparando o ambiente, para aplicação das diversas práticas e ferramentas *lean*.



Os cinco pilares do 5S são: *SEIRI* (Utilização), *SEITON* (Arrumação), *SEISO* (Limpeza), *SEIKETSU* (Padronização) e *SHITSUKE* (Autodisciplina).

### 2.3.2 *Just in Time* - A produção puxada, nivelada e o sistema *Kanban*

Nazareno *et al.* (2003), definem como principais pontos de apoio ao JIT a produção puxada e a produção nivelada, ressaltando a importância de sua combinação, pois ao realizá-la, torna-se possível eliminar o principal tipo de desperdício, a superprodução.

A produção puxada é definida por Womack e Jones (1996), como a capacidade de uma empresa projetar, programar e manufaturar exatamente de acordo com a demanda do cliente. Dessa forma deixa-se de lado as previsões de vendas e inicia-se a produção somente mediante pedidos, em outras palavras, processos predecessores não devem produzir até que o processo sucessor solicite.

O puxar do sistema tem seu início na última etapa do processo quando ainda não há um fluxo contínuo. Em virtude disso para que a produção puxada seja bem-sucedida deve haver um fluxo de produtos em pequenos lotes (utilizando *one piece flow* sempre que possível). O *one piece flow* refere-se ao conceito de mover uma peça de cada vez entre as operações (SUNDAR *et al.*, 2014).

Em relação aos pequenos lotes de peças prontas que devem ser posicionados ao final de cada etapa, na lógica da produção puxada são conhecidos como supermercados. Para que o supermercado funcione de forma efetiva e conseqüentemente a produção puxada, existe um sistema de sinalização, o *Kanban* (GHINATO, 2000). Esse sistema de sinalização deve funcionar entre cliente e fornecedor e informa ao processo fornecedor de forma exata o que, quando e quanto se deve produzir. O *Kanban* consiste em controlar a produção, permitindo a reposição de estoques sem que haja excessos, de forma visual.

Em seu funcionamento o processo sucessor (cliente), se direciona ao supermercado (estoque) do processo anterior (fornecedor) de posse do *Kanban* de retirada, que possui as quantidades exatas a se retirar deste estoque, conforme a necessidade. O *Kanban* então retorna ao processo sucessor juntamente com o material retirado do supermercado. No exato momento da retirada de material pelo processo sucessor, o processo anterior recebe um *Kanban* de produção, liberando a produção do determinado item conforme a figura 4.

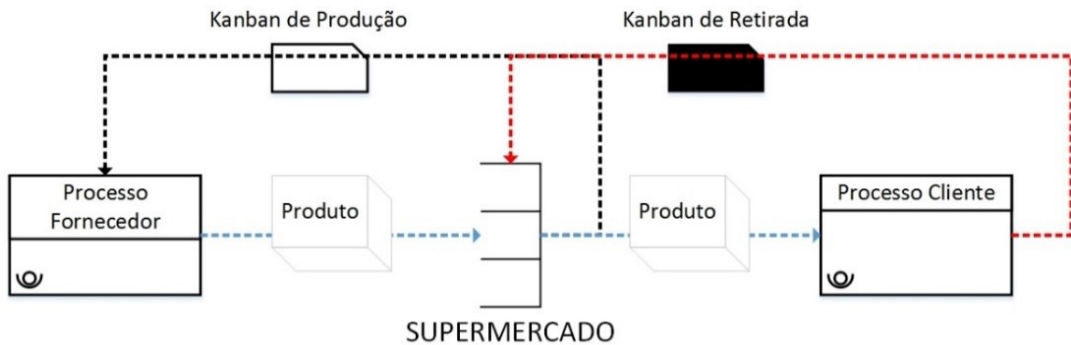


Figura 4 - Esquema de funcionamento do Kanban e Supermercado  
 Fonte: Elaboração própria (2015).

Ao abordar o tema, Peinado e Graeml (2011) afirmam que o primeiro passo na implantação de um sistema Kanban deve ser definir onde devem haver os supermercados (figura 5) e o cálculo do número de cartões necessários, enfatizando que para isto, deve-se conhecer algumas particularidades do processo em questão.

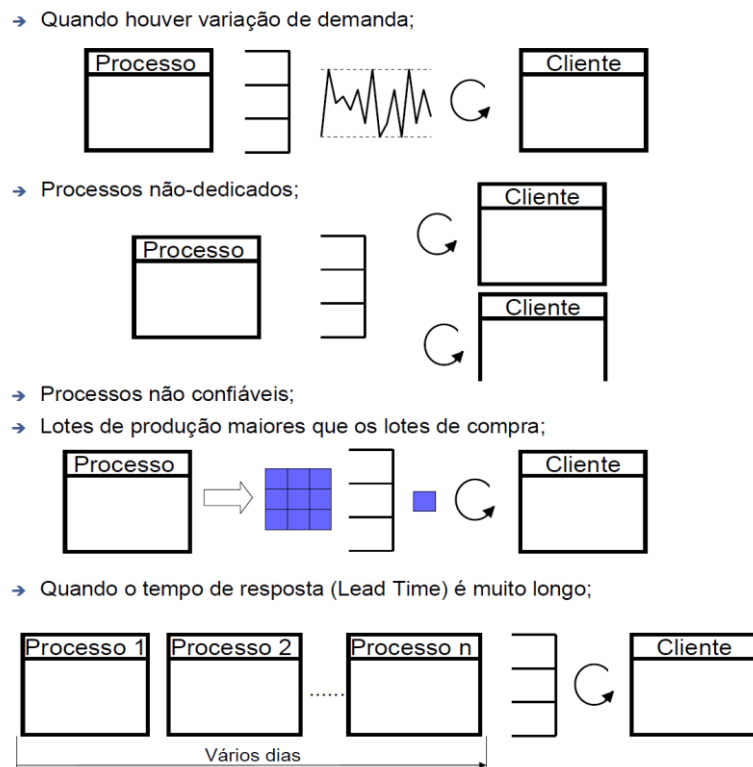


Figura 5 - Onde deve ser inserido o supermercado no fluxo de valor  
 Fonte: Elaboração própria (2015).

Os mesmos autores ainda mencionam as equações clássicas 1 e 2, que devem ser adotadas para o referido cálculo, dependendo da existência ou não de *setups*:

**- Cálculo sem setup:**

$$n = (D \times T)/Q + 1 + (S/Q) \quad (1)$$

Onde:

Q = Quantidade de peças por container;

n = número de cartões;

D = Demanda;

T = Tempo de ressuprimento (lead time);

S = Estoque de segurança.

**- Cálculo com setup:**

$$n = (L/Q) + (S/Q) + (D \times T)/(Q + 1) \quad (2)$$

Onde:

Todas as variáveis permanecem as mesmas, acrescentando apenas L= lote mínimos de produção.

Embora existam variações quanto ao cálculo de *Kanbans*, a forma de nivelamento permanece inalterada, seguindo o *Heijuka Box*, definido por Ghinato (2000) como uma forma de programação nivelada de pedidos em sequenciamento de padrão repetitivo e nivelamento das variações diárias de todos os produtos, visando atender a demanda a longo prazo, em outras palavras o *heijuka box* é o nivelamento das quantidades e do *mix* de produtos.

Ao combinar-se o sistema *Kanban* com o nivelamento de produção, pode-se reduzir os estoques de matérias primas, estoques em processos e estoques de produtos acabados. Com isso o tempo de resposta ao cliente é bem menor mesmo considerando um *mix* variado de produtos, sem precisar manter grandes quantidades de estoque e gerar custos desnecessários referentes a superprodução.

### 2.3.3 Jidoka (autonomação)

Assim como o JIT, a autonomação ou *Jidoka* é um dos pilares do TPS, possui enorme importância, sendo fundamental devido à sua ligação direta com os conceitos de qualidade. Ghinato (2000), define a autonomação como a forma de permitir ao

operador ou à máquina autonomia para parar o processo sempre que for detectada alguma anormalidade. Em outras palavras, é uma forma de dar inteligência à máquina. Porém, embora o conceito seja constantemente associado a automação, sua ideia real possui maior identidade com autonomia.

A ideia central do Jidoka é de impedir a geração e a propagação de defeitos, no momento em que a linha de produção é parada por um operador, um problema imediatamente se torna visível ao próprio operador e conseqüentemente a seus colegas e à supervisão, gerando uma força tarefa, que buscará a causa fundamental do problema com o objetivo de eliminá-la, evitando reincidência e assim reduzindo novas paradas da linha.

#### 2.3.4 Manutenção Produtiva Total (TPM)

Para Jostes e Helms (1994), o TPM descreve uma relação de sinergia entre todas as funções organizacionais de uma companhia, porém principalmente entre produção e manutenção, visando uma melhoria contínua do produto, eficiência operacional, garantia de capacidade e segurança. Sendo ponto alto da manutenção produtiva total a valorização da participação de todos os colaboradores na manutenção sistemática dos equipamentos, a chamada manutenção autônoma.

Womack e Jones (1996), descrevem como objetivo principal do TPM, tornar os equipamentos capazes de produzir sempre que houver necessidade, impedindo assim que haja qualquer interrupção. A fim de sustentar o TPM, estruturando a integração entre as diversas áreas organizacionais da empresa, Hatakeyama e Rodrigues (2006), ressaltam a importância dos 8 pilares do TPM (figura 6), que devem ser estabelecidos sobre as dimensões da produtividade, qualidade, atendimento ao consumidor, segurança e moral.

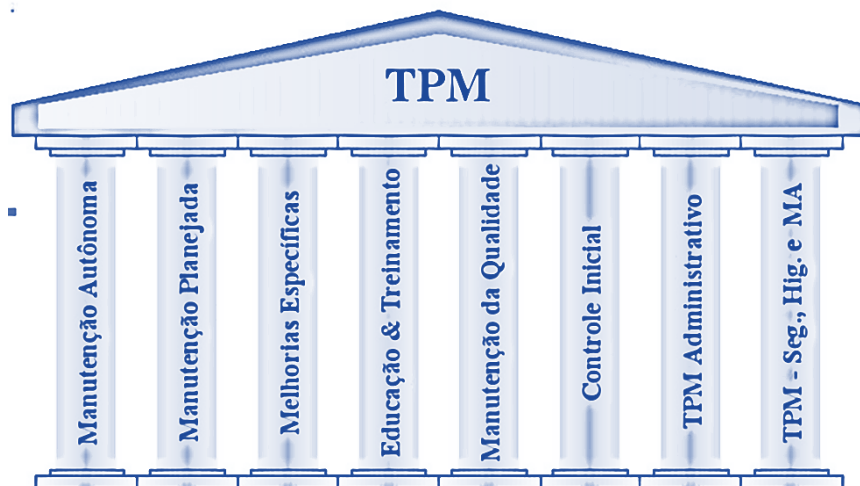


Figura 6 - Pilares do TPM  
 Fonte: Adaptado Singh et al (2012).

- **Manutenção Autônoma:** Se refere a conscientização da filosofia TPM, preparando e dando liberdade ao operador em realizar mudanças que garantam melhores níveis de produtividade;
- **Manutenção Planejada:** É o desenvolvimento dos manutenedores e dos responsáveis pela área de manutenção, na criação de uma sistemática de efetiva para a realização das intervenções;
- **Melhorias específicas:** Visa a eliminação de perdas no sistema produtivo;
- **Educação e Treinamento:** Tem como objetivo a capacitação de todas as pessoas, tornando-as aptas para o melhor desempenho de suas atividades;
- **Manutenção da Qualidade:** Refere-se a manter a qualidade, programa defeito zero, estabelecendo melhorias nos equipamentos;
- **Controle Inicial:** Acompanhamento desde a concepção de novos projetos ou aquisições;
- **TPM Office:** Busca efetividade, limpeza e organização nas áreas administrativas;
- **Segurança, Higiene e Meio ambiente:** Estabelece um sistema de gestão para busca de acidente zero, doença zero e zero danos ao meio ambiente.

Durante a implantação do TPM, no pilar de melhorias específicas, que visa identificar e eliminar as perdas de um equipamento é criado um importante indicador,

o qual permite visualizar a eficiência global de um equipamento, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), obtido conforme a equação 3 (MUCHIRI *et al.*, 2010).

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade \quad (3)$$

Onde:

**Disponibilidade:** Mede o tempo em que o equipamento não está em funcionamento, sendo o valor obtido pela razão entre as horas disponíveis para funcionamento do equipamento e o tempo planejado para funcionamento do mesmo;

**Performance:** Mede as perdas referentes a velocidade/ritmo de produção atribuídas ao equipamento, obtendo-se o valor através da divisão da produção efetiva pela meta de produção planejada;

**Qualidade:** Mede os produtos defeituosos oriundos do processo, onde o valor é obtido relacionando o número de produtos com defeito e a quantidade total de produtos no mesmo período.

### 2.3.5 SMED (Troca rápida de ferramentas)

Dentre as filosofias e ferramentas utilizadas no TPS, o SMED (*Single Minute Exchange of Die*) tem a função de atuar sobre os Setups. O SMED tem sua criação atribuída a Shigeo Shingo, que após estudos realizados na Toyota, chegou à conclusão de que o *setup* de um equipamento deve durar menos de 10 minutos ou seja dentro de um dígito (SUGAI *et al.*, 2007). Como resultado de seus estudos Shingo (1985), distingue três etapas para a realização da metodologia.

Na primeira etapa, Shingo identifica e classifica os tipos de *setups* em *setup* interno o conjunto de mudanças que são realizadas com a máquina parada, enquanto o *setup* externo ocorre com as máquinas em movimento. A segunda etapa refere-se à duplicação de ferramentas para que fosse possível realizar o *setup* separadamente. Por fim a terceira etapa trata da conversão de *setups* interno em *setup* externo que é o ponto alto desta metodologia. A figura 7 traz a representação da metodologia e seus diferentes estágios.

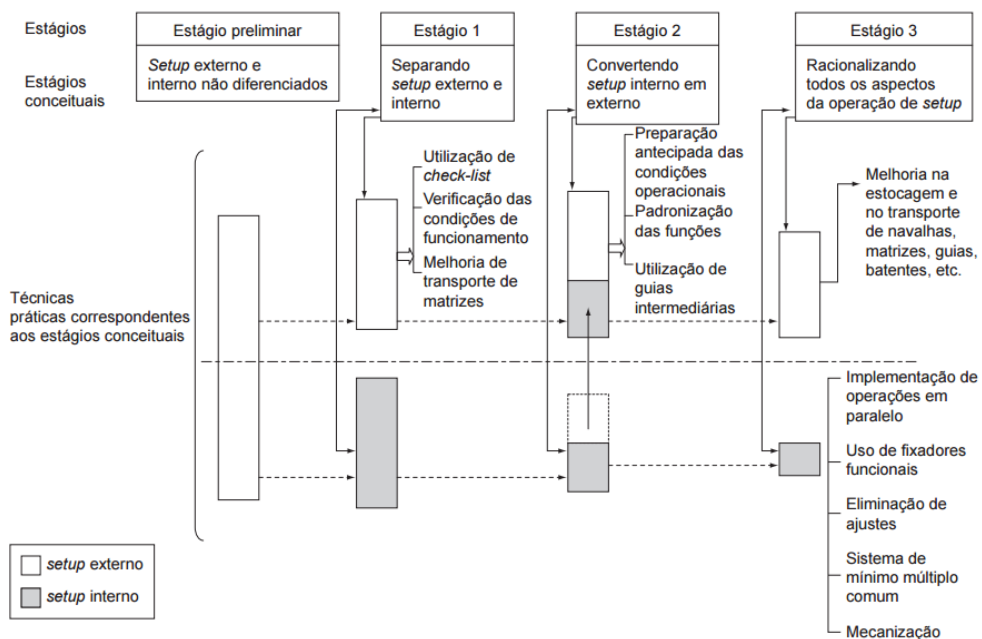


Figura 7– Estágios da metodologia SMED  
Fonte: Shingo (1985).

### 2.3.6 Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM)

O fluxo de valor é o conjunto de todas as ações necessárias (que agregam ou não valor) para trazer um produto (ou grupo de produtos que utilizem os mesmos recursos) por todos os fluxos essenciais, desde a matéria prima até o consumidor. Com base na definição de Rother e Shook (1999), percebe-se a importância desta ferramenta para a implantação e manutenção do sistema *lean*.

Para Verma *et al.* (2009), o mapeamento de fluxo de valor pode ser aplicado a qualquer processo, além disso, se difere dos demais mapeamentos principalmente pelo fato em que trabalha em duas grandes esferas simultaneamente, a do fluxo de materiais e do fluxo de informações, onde busca-se entender o pleno funcionamento da programação de produção, da entrada de pedidos feita pelo cliente, previsões de demanda e relacionamento com os fornecedores. Ainda de acordo com os mesmos autores, Rother e Shook (1999), o VSM (figura 8) é uma maneira de avaliar de forma sistematizada os processos como um todo, e não analisá-los de forma individual, uma vez que o fluxo é afetado de forma geral.

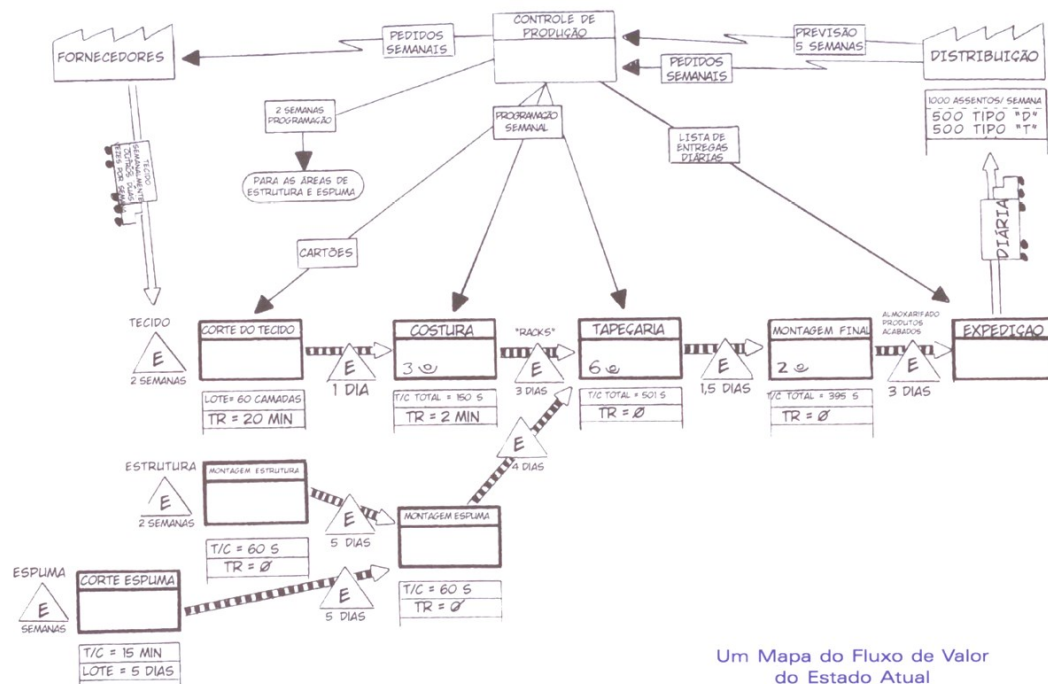


Figura 8 – Mapa de Fluxo de Valor  
Fonte: Rother e Shook (1999).

Indo ao encontro com a mentalidade enxuta, o VSM busca pelas atividades que não agregam valor, com o objetivo de eliminá-las. Abdulmalek e Rajgopal (2007), afirmam que o mapeamento auxilia no gerenciamento das mudanças essenciais na eliminação das ANV, direcionando as tomadas de decisão e possibilitando a melhoria de resultados por meio de indicadores de desempenho que procuram sustentar o processo de melhoria contínua.

Rother e Shook (1999), levantam alguns motivos pelos quais essa ferramenta é considerada essencial:

- Auxilia a enxergar o todo (fluxo total) e não apenas partes do processo;
- Trabalha em uma linguagem padronizada ao tratar dos assuntos de manufatura;
- Torna visíveis as decisões sobre o fluxo;
- Integra os conceitos, técnicas e ferramentas da mentalidade enxuta, impedindo que sejam aplicadas isoladamente;
- Forma a base de implementação para a produção enxuta;
- Mostra a relação entre informações e materiais;
- É uma ferramenta qualitativa que permite descrever detalhes de como sua operação deve ocorrer para obter melhores resultados.



Para a realização do mapeamento de fluxo de valor Sundar *et al.* (2014), ressaltam os passos utilizados por Rother e Shook (1999), descritos a seguir e visualizados conforme a figura 9:

- **Família de Produtos:** Como os consumidores não se importam com todos os produtos de uma empresa, deve-se focar em uma família de produtos. Uma família é um grupo de produtos que se utiliza de recursos comuns;
- **Mapa do estado atual:** É o primeiro passo onde é realizada a coleta de informações no chão de fábrica, busca-se o maior número de dados sobre o andamento do processo, e que possibilitem entender e planejar ações para a construção do mapa de estado futuro;
- **Mapa do estado futuro:** É o mapa já com as devidas idealizações das alterações de como o fluxo de informações e de materiais deve ocorrer. Os autores ressaltam que durante a criação do estado futuro, muitas vezes será necessário levantar mais informações para o estado atual que não foram percebidas no início do mapeamento;
- **Plano de implementação:** É o passo final que descreve as ações que devem ser tomadas para sair do estado atual e atingir o estado futuro, definindo responsáveis, métodos e prazos.

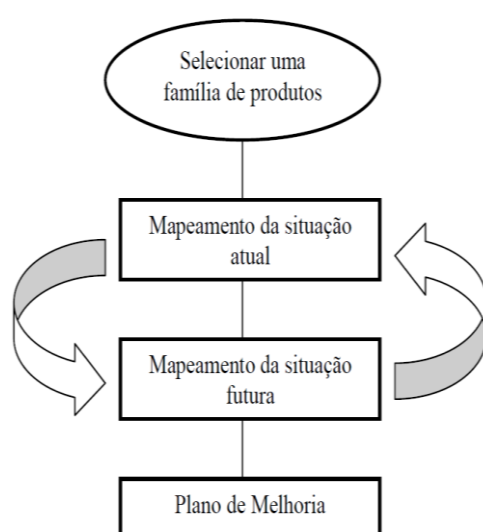


Figura 9 - Esquema para realização do mapeamento de fluxo de valor.  
Fonte: Rother e Shook (1999)

Ao mencionar o mapa do estado atual, Rooter e Shook (1999), definem como essenciais as informações definidas logo na coleta de dados, as **métricas Lean**, destacando-se:

- **Tempo de Ciclo (T/C):** é a frequência com que uma peça ou produto é completada em um processo;
- **Lead Time:** definido como o tempo em que uma peça leva para percorrer todo o processo de manufatura. O valor do *lead time* só pode ser encontrado após a construção do VSM, pois depende da obtenção dos tempos de ciclo e demais dados preenchidos;
- **Takt Time:** refere-se à frequência com que a empresa deve manufaturar o produto, em outras palavras na filosofia *lean* é número gerado ao entender o ritmo de vendas através da equação 4.

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo de trabalho disponível por turno}}{\text{Volume de demanda do cliente por turno}} \quad (4)$$

-**Tempo de agregação de valor (TAV):** é o tempo em processamento no qual o cliente atribui valor, e está disposto a pagar;

É através destes valores das métricas principais, que ao realizar o VSM do estado atual, pode-se identificar onde está o gargalo do processo, quanto tempo está sendo desperdiçado em atividades que não agregam valor e devem ser os pontos principais para se atuar em melhorias, sem falar em comparações possíveis após a geração do mapa do estado futuro, com o intuito de verificar se as mudanças foram de fato significativas.

## 2.4 APLICACÕES E DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA

Já visto como uma tendência, pode-se afirmar que diversos, se não todos, são os setores em que o sistema de produção enxuta pode ser encontrado. Apesar desta afirmação, devido a suas origens a produção enxuta é encontrada principalmente no setor automotivo. Nessa direção, Singh e Singh (2013), em trabalho realizado diretamente sobre o processo produtivo de uma indústria de autopeças, objetivando a utilização do VSM na busca por desperdícios, demonstram a grandeza dos resultados obtidos através da aplicação da produção enxuta, como por exemplo uma redução de 69,41% nos tempos de ciclo, aproximadamente 20% de redução nos estoques entre processos e 25% de redução de *lead time*.

Roldan e Miyake (2004), também em seu estudo na indústria automotiva, realizam uma estruturação sobre a aplicação da mentalidade enxuta no setor,

analisando a mudança efetuada no *forecast* de produção, o que se dá sobre o processo de tomada de decisão e não sobre o processo produtivo em si, comprovando assim o dinamismo da aplicação do pensamento enxuto, através de resultados que mostram a possibilidade de estruturar o processo de tomada de decisão seja pela ótica da qualidade da informação ou da perspectiva do fluxo do processo (fluidez, rapidez, melhor utilização dos recursos).

Ainda demonstrando a variedade de setores onde o *lean manufacturing* tem sua aplicação obtida com sucesso, Bartz *et al.* (2013), realizam sua pesquisa no setor de equipamentos agrícolas, atuando principalmente buscando a redução de *lead times* através do JIT, obtendo uma alta interação entre todos os componentes da cadeia de suprimentos, alcançando redução de tempos de ciclo e assim melhor satisfação dos clientes.

Apesar da aplicabilidade da produção enxuta, deve-se ressaltar as inúmeras dificuldades para implementar esse sistema, independentemente do porte da companhia e do setor em que a empresa atua. Saurin *et al.* (2010), em pesquisa envolvendo profissionais de um total de 47 empresas que trabalham utilizando o sistema lean, sendo 15 estrangeiras e 32 brasileiras apresentam conforme a figura 10, que as quatro principais dificuldades se dão por conta da forma de adaptação quanto a conceitos e práticas do sistema, da resistência das pessoas as mudanças, falta de foco e quanto à forma de quantificar os possíveis ganhos financeiros com a aplicação correta da mentalidade enxuta.

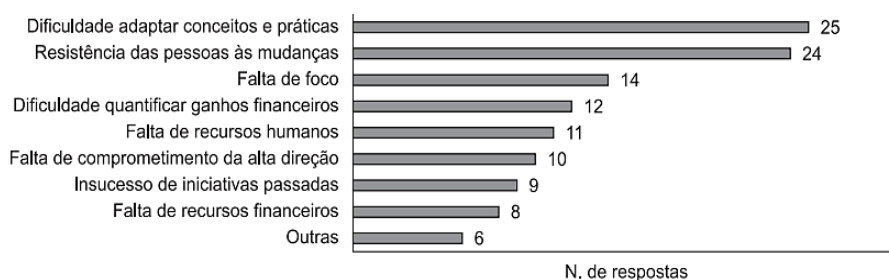


Figura 10 - Principais dificuldades para implementar a Produção Enxuta  
Fonte - Saurin et al (2010)

Entre as quatro principais dificuldades levantadas, percebe-se que as três primeiras são relacionadas a pessoas, que em termos de gestão, são os principais recursos que uma empresa pode ter, demonstrando a importância de se trabalhar sobre o perfil profissional e sobre o comportamento, para que não existam tantas dificuldades e resistências na aplicação do *lean manufacturing*.

Apesar de se apresentar apenas na quarta posição entre as principais dificuldades, está a quantificação dos possíveis ganhos, e essa dificuldade exalta a necessidade de uma ferramenta auxiliar para a implantação de produção enxuta. Sobre essa ótica aborda-se a simulação.

## 2.5 SIMULAÇÃO NA GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Devido ao alto nível de competitividade, cria-se a necessidade de respostas rápidas aos clientes, sendo assim com a evolução dos sistemas de produção também pode-se observar além das tecnologias investidas em maquinários, avanços significativos nas ferramentas que auxiliam nas tomadas de decisão. Nesse contexto destaca-se a simulação, definida como o processo de criação e experimentação através de um modelo matemático de um sistema físico, permitindo assim a modelagem de sistemas de manufatura, levando em conta fatores chave como: *layout* de fábrica, logística de produção, planejamento de capacidade, fluxo de materiais, fluxo de processo, utilização da mão de obra, investimento em novos equipamentos entre outros (CHUNG, 2004).

Segundo Kellner *et al.* (1999), existem seis categorias de propósito para o uso da simulação, sendo elas:

- Gerenciamento estratégico;
- Planejamento;
- Controle e gerenciamento operacional;
- Melhoria de processo e utilização de novas tecnologias;
- Entendimento;
- Treinamento e aprendizado.

Moutzis *et al.* (2014), ressaltam a principal vantagem da simulação, que permite a visualização de um sistema, a fim de implementar mudanças, respondendo perguntas através de testes computacionais, evitando a ocorrência de erros e minimizando gastos e tempo.

Ainda sobre as vantagens do uso da simulação, Chung (2004), lista as seguintes:

- Possibilidade de simular longos períodos em um tempo reduzido;
- Possibilita a representação precisa dos experimentos, bem como do funcionamento de um sistema, permitindo assim, testar diferentes alternativas;

- Sistemas mais complexos que envolvem elementos estocásticos, que matematicamente seriam difíceis de modelar, podem ser estudados através da simulação;
- É múltiplas vezes mais econômico do que testar o sistema real, evitando o desperdício na compra de materiais e equipamentos desnecessários.

A dinâmica de uso da simulação em um ambiente de manufatura, facilita a visualização dos efeitos de mudanças locais neste sistema, dessa forma tem-se a plena percepção caso haja alguma alteração em alguma estação de trabalho.

## 2.6 SIMULAÇÃO COMO SUPORTE AO *LEAN MANUFACTURING*

O *lean manufacturing* traz uma série de ganhos, porém para a aplicação dessa filosofia são necessárias inúmeras mudanças e um extremo comprometimento com o fluxo das atividades e dos materiais, nesse sentido a simulação é vista como mais que uma ferramenta útil para a realização dessas mudanças, mas também como um suporte barato e seguro em comparação ao custo com erros (CZARNECKI; LOYD, 2001).

Ainda quanto ao aspecto de mudanças, Abdulmalek e Rajgopal (2007), afirmam que para as empresas que dependiam há muito tempo dos sistemas tradicionais de produção, muitas vezes é muito difícil estabelecer o compromisso necessário para a implementação do *lean manufacturing*. Ocorre uma certa relutância, principalmente pois é difícil prever a magnitude dos ganhos que podem ser alcançados ao realizar a implementação da mentalidade enxuta. Além disso, Detty e Yingling (2000), abordam o tema lembrando que para a maioria dos gerentes, apenas relatos de sucesso de outras empresas não é suficiente para a implementação das mudanças propostas pela mentalidade enxuta, nem mesmo a proposta vista através do VSM em seu estado futuro é suficiente, mostrando assim a importância de utilizar a simulação como suporte a essa técnica.

Como foi mencionado anteriormente na seção que aborda as ferramentas do *lean manufacturing*, o VSM é uma ferramenta diferenciada, que permite uma visão ampla do processo e por isso pode ser considerado uma das ferramentas mais importantes da mentalidade enxuta. Com base nesta visão, Xia e Sun (2013), ressaltam a afirmação, porém enfatizam que o VSM não é suficiente para analisar todos os problemas de um sistema produtivo, recomendando fortemente o uso de

simulação, objetivando tratar fielmente as questões operacionais que o VSM não consegue tratar.

Para Czarnecki e Loyd (2001), a simulação pode interagir perfeitamente com o VSM, sendo essa a forma de atuar como suporte ao *lean manufacturing*, auxiliando nas seguintes formas:

- **Suporte ao VSM – Avaliação do estado atual:** buscar os problemas existentes no processo de manufatura, mais especificamente os tipos de desperdícios citados anteriormente;
- **Suporte ao VSM – Avaliação do estado futuro:** avaliar o impacto das oportunidades de melhorias em simulação discreta;
- **Documentar resultados:** as respostas obtidas pela simulação podem ser usadas para formalizar as oportunidades de melhoria;
- **Medição de impactos:** Realizar as mudanças e realizar comparações sobre o que realmente deve ser realizado;
- **Estruturação do funcionamento do sistema de Kanbans:** avaliar o funcionamento do sistema de supermercados, bem como analisar os pontos de estoques entre processos.

Em estudo realizado na indústria de autopeças, Jasti e Sharma (2014), mostram claramente o impacto positivo do uso do VSM em combinação a simulação através de melhores resultados com relação a *Takt Time*, níveis de estoque, lead time entre outros.

### 2.6.1 Etapas para implementação da simulação

Seja na implementação de modelos de gestão, novas tecnologias ou até mesmo na utilização de softwares com a intenção de garantir que os resultados ocorram como o esperado, deve-se conhecer a dinâmica de aplicação. Ao encontro com essa percepção, Freitas Filho (2001) resume as etapas de implementação conforme a figura 11 apresentada na sequência, onde podem-se verificar todas as etapas envolvidas, ressaltando-se as quatro grandes etapas da simulação: planejamento, modelagem, experimentação e tomada de decisão.

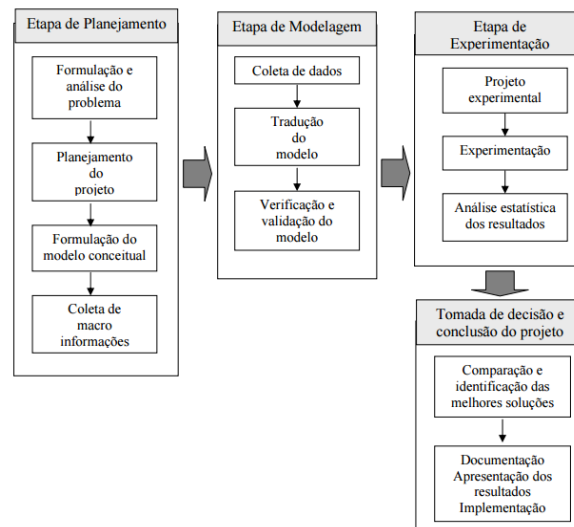


Figura 11 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação  
 Fonte: Freitas (2001)

➤ **Etapa de Planejamento:** A primeira grande etapa de implementação de simulação de sistemas de produção parte da definição do problema de estudo, tendo com seqüência um estudo para que seja definido se a simulação é de fato a forma mais eficaz de se atingir o objetivo desejado, bem como se existem os recursos necessários para a realização da simulação.

➤ **Etapa de Modelagem:** Nesta segunda grande etapa, encontram-se três sub etapas muito importantes, onde se realiza a coleta dos dados efetivos para o modelo, define-se a linguagem que será usada para traduzir de melhor forma o modelo base e a escolha do software que será utilizado para a simulação;

➤ **Etapa de Experimentação:** Durante a etapa de experimentação verifica-se e válida-se os dados das fases anteriores, e define-se como cada um dos testes será realizado. Logo em seguida realiza-se os testes, finalizando com a interpretação e análises estatísticas;

➤ **Etapa de Tomada de decisão e conclusão:** A última grande etapa é onde é realizada a tomada de decisão com base nos testes realizados, comparam-se os cenários testados afim de escolher aquele que melhor atende o que foi proposto como objetivo inicial.

## 2.7 A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Atualmente indústria de celulose e papel vem ganhando relevância no cenário econômico mundial, contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias,

crescimento sustentável e renovação dos recursos naturais. Não apenas em termos de desenvolvimento, economicamente também demonstra sua relevância mundial, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, movimentando em torno de U\$\$ 2,5 bilhões por ano com cerca de 10 mil fábricas de celulose e 15 mil fábricas de papel, as quais produzem aproximadamente 400 milhões de toneladas de papel a cada ano (HUJALA et al, 2013).

Quanto ao processo, o papel é produzido através do agrupamento de fibras oriundas da madeira das árvores de eucalipto (fibra curta) e/ou pinus (fibra longa), matéria prima (celulose) que passa por tratamento termoquímico e/ou mecânico tendo como seus principais exportadores Canadá, Estados Unidos, Suécia, Brasil e Finlândia, os quais se beneficiam com a expansão do comércio mundial com os importadores europeus e asiáticos (OLIVEIRA, 2005).

No quesito competição, o setor de celulose e papel é dirigido por preço e qualidade, sendo visível nas grandes escalas de produção das novas plantas a possibilidade de menores custos unitários, que acabam exigindo investimentos cada vez mais altos e uma alta disponibilidade de matéria prima florestal, caracterizados como grandes barreiras à entrada de novos *players*. A produção mundial é concentrada em grandes grupos/empresas que atuam em diversos segmentos do mercado de papel e celulose nos diferentes países e tem sido cada vez maior a ocorrência de fusões entre grandes indústrias, caracterizando a mais de dez anos a reestruturação do setor visando manter a competitividade mesmo em situações não favoráveis (DORES et al, 2013).

### 2.7.1 A situação e a importância da indústria de celulose e papel no Brasil

A indústria de celulose e papel no Brasil desde a década de 90 vem sofrendo inúmeras transformações internas e setoriais. Internamente as mudanças se dão principalmente pela visível redução de níveis hierárquicos e quanto ao uso da terceirização cada vez mais constante, enquanto setorialmente, conforme Vidal e da Hora (2013), as mudanças são relacionadas à saída das pequenas empresas do mercado, a fusão de grandes empresas, exigindo as empresas remanescentes, reestruturação e busca por independência energética.

No âmbito mundial conforme a BRACELPA (2014), o Brasil ocupa a 9ª posição como maior produtor de papel e a 4ª posição em relação a produção de



celulose. Vidal e da Hora (2013), destacam a posição ocupada pelo Brasil, alcançando maiores números a cada ano, com crescimento médio anual de 5,4% para o papel e 7,1% para celulose (figura 12), sendo listados como principais motivos de tamanho sucesso e crescimento contínuo, os grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento que elevaram a produção do pinus e do eucalipto brasileiro ao maior patamar mundial e as condições climáticas favoráveis do país.

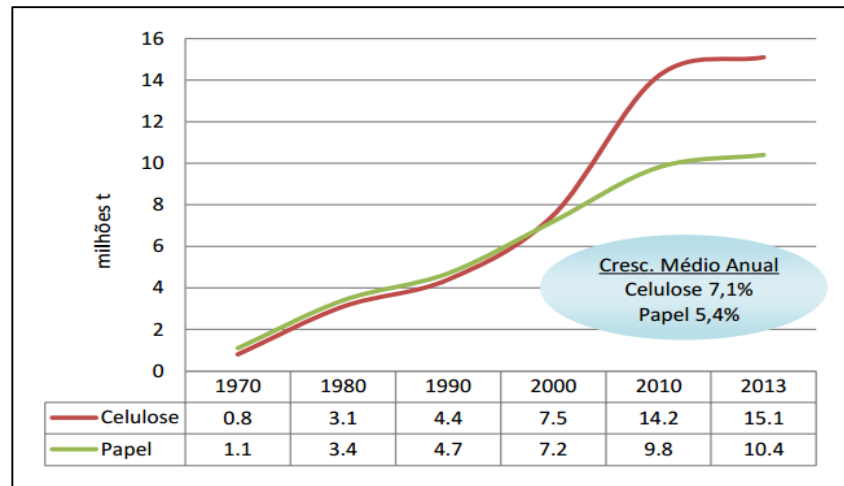


Figura 12 - Crescimento médio da produção de Celulose e papel no Brasil  
Fonte: BRACELPA (2014)

Ao considerar o desdobramento da produção de papel, segundo a BRACELPA (2014), visando atender os produtos finais: celulose, embalagens, imprimir e escrever, imprensa, fins sanitários, papel cartão e outros, atuam como principais empresas no Brasil, International Paper, Klabin S/A, Fibria, Suzano, Veracel entre outras. Em termos de atendimento ao mercado interno e externo destaca-se a produção de papeis para embalagem que representa cerca de 70%.

## 2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Por meio do estudo e revisão bibliográfica realizados no capítulo 2, tornou-se possível o entendimento detalhado sobre os conceitos e ferramentas relacionados ao pensamento enxuto. Em virtude disso, considera-se viável a realização do estudo de caso, pois com o uso das técnicas e conceitos abordados no referencial, será possível a elaboração de propostas de melhorias para a redução de desperdícios na empresa de estudo. Sendo assim é de extrema importância o foco sobre os resultados obtidos, os quais seguem a metodologia proposta na visão dos mapas de fluxo de valor.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho para fins metodológicos, adota as classificações quanto a natureza da pesquisa, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos.

Ao considerar como principal objetivo deste trabalho responder a dúvida gerada e descrita no problema de pesquisa, como “que melhorias referentes a processo e planejamento podem ser alcançadas ao se combinar conceitos do *lean manufacturing* e simulação em uma linha de produção de uma indústria do setor de celulose e papel”, classifica-se conforme Barros e Lehfeld (2000) a pesquisa como aplicada, buscando resolver um problema concreto, sob a expectativa da redução de desperdícios.

Na visão de abordagem do problema, define-se o presente trabalho como de caráter quantitativo, ao apresentar quantificação tanto no modo de coleta como na tratativa dos dados, ao utilizar-se de técnicas estatísticas objetivando resultados que evitem distorções de análise e interpretação e também valores que podem ser comparados para assim então determinar os ganhos no que diz respeito a propriedades temporais e econômicas do processo (DIEHL, 2004).

Quanto ao ponto de vista do objetivo, como a presente pesquisa pretende proporcionar maior familiaridade com o tema estudado e principalmente através do estudo do cenário atual, construir cenários futuros tendo como base a implantação de melhorias geradas através de hipóteses, conforme Gil (2008), classifica-se como pesquisa exploratória.

Por fim do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa de acordo com Silva e Menezes (2005) é do tipo estudo de caso, uma vez que tem a intenção de averiguar um fenômeno atual dentro de um cenário real que permite realizar de forma detalhada os processos da organização, porém também assume caráter experimental devido a sua implantação através de simulação.

#### 3.2 ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A aplicação da metodologia neste trabalho foi estabelecida de forma resumida em seis etapas, visualizadas através da figura 14.

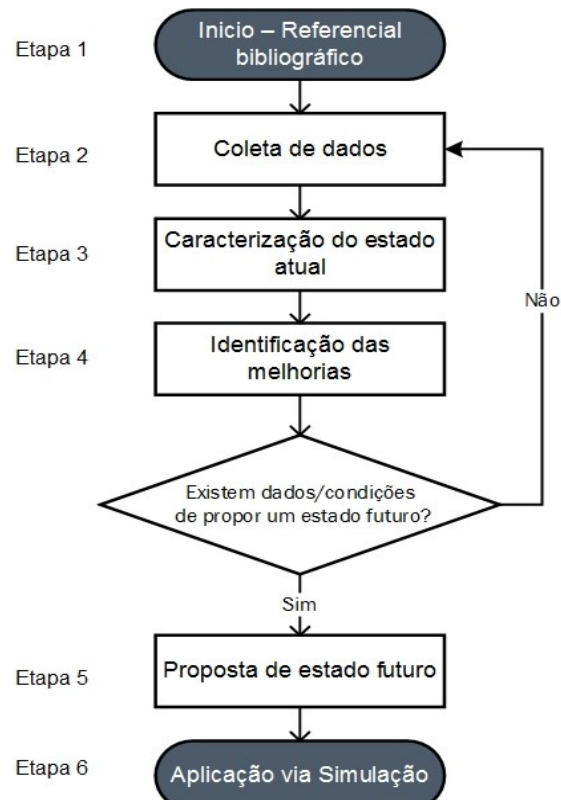


Figura 13 - Fluxograma de etapas da metodologia  
Fonte: Elaboração própria (2015).

Etapa 1: É o ponto de partida para um conhecimento mais profundo sobre o tema estudado, suas ferramentas e aplicações. Para a composição do referencial bibliográfico neste trabalho, a criação do portfólio ocorreu de duas formas: sistematizada e não sistematizada, sendo que em ambas buscou-se por artigos e fontes de boa qualificação mundial, abordagem clara e direta do tema. Quanto à maneira sistematizada, realizou-se uma busca pela melhor combinação de palavras chave que retornassem uma quantidade significativa de artigos relacionados ao tema e em seguida classificou-se os artigos, seguindo metodologia abordada por Pagani *et al.* (2015). Principalmente para os temas que envolviam percepções regionais, a busca por artigos foi não sistematizada, levando em consideração a qualidade do artigo, número de citações e envolvimento com o assunto. Também foram utilizados livros para complementar o referencial.

Etapa 2: Para a coleta de dados foi inicialmente realizado um planejamento, sobre quais tipos de dados coletar e a área de coleta. Os dados foram cedidos e coletados através da medição de tempo do processo juntamente aos operadores, engenheiros e responsáveis pelo planejamento e controle da produção durante o tempo de estágio obrigatório. Para a etapa onde houve necessidade de obtenção

manual de dados, foi necessário formar equipes contando com operadores de todas as turmas de trabalho.

Etapa 3: Ao propor-se a buscar melhorias e implementá-las, faz-se necessário a identificação do estado atual, onde gerou-se o mapa de fluxo de valor (VSM) que permite compreender o funcionamento do processo, as ferramentas aplicadas pela companhia diagnosticando os pontos que devem demandar maior atenção e gargalos que devem ser trabalhados entre outros.

Etapa 4: Através de reuniões tendo como base o estado atual construído na etapa anterior, foram identificadas de fato as melhorias classificando-as com vistas a priorizar suas possíveis implantações.

Etapa 5: A etapa 5 é uma das principais etapas deste trabalho visto que é a primeira grande entrega do que se esperar como resultado após a implementação das melhorias elencadas. Através do estudo realizado através do referencial bibliográfico, e etapas anteriores, tornou-se possível construir o mapa do estado futuro, que possibilita visualizar como serão as operações após a aplicação das melhorias identificadas.

Etapa 6: A etapa de aplicação via simulação, atua como suporte a etapa 5 e minimiza a possibilidade da ocorrência de erros, resultando em uma maior confiança ao se entregar o estado futuro para a aplicação real.

A seguir no capítulo 4 será apresentada a consolidação da metodologia proposta através da aplicação.

#### 4. ESTUDO DE CASO

A empresa onde realizou-se o estudo é de origem brasileira, do setor de celulose e papel e já estabelecida mundialmente, sendo caracterizado como início de suas operações o ano de 1899. Devido à necessidade de competição e a visão de seus fundadores, a empresa ao longo dos anos é conhecida pela inovação e desenvolvimento de tecnologias para a fabricação de papel. A empresa atualmente conta com dezesseis unidades e um distribuidor logístico nos Estados Unidos, a fim de atender cinco unidades de negócio: Florestal, Papéis, Celulose, Embalagens de Papelão Ondulado e Sacos Industriais, sendo que na unidade de estudo hoje trabalham cerca de 4000 funcionários.

O presente estudo se dará sobre a unidade principal da empresa, localizada no Paraná, que atua com papéis, sendo os principais produtos o LPB (*Liquid Packaging Board*), Cartões e o *Kraftliner*.

Analisando o fluxo da indústria em estudo, a qual possui uma linha de produção de fibras que atende à demanda das máquinas de papel, percebe-se claramente a existência de pequenas “indústrias” de processos auxiliares em torno das máquinas de papel (figura 13), sendo necessário estabelecer um foco sobre a linha de estudo.

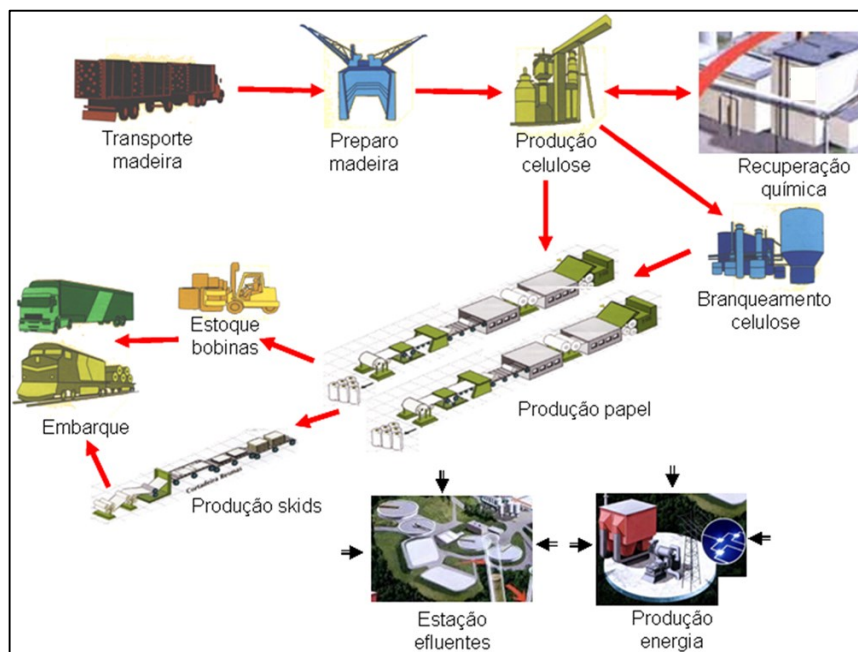


Figura 134 - Processo de fabricação de papel (Indústrias dentro da Indústria de papel)  
Fonte: Elaboração própria (2015).

Ao analisar o momento de crise enfrentado pelo país atualmente (2015 – 2016), percebe-se que grandes empresas que trabalham sobre diversos focos de mercado, e com grandes volumes direcionados à exportação, claramente sentem os efeitos negativos de maneira diferente, oportunizando a criação de estratégias que permitam enfrentar períodos desfavoráveis da melhor maneira, e ainda assim atender a demanda nacional. Apoiando esta visão, o setor de celulose e papel em geral no país não sentiu os efeitos negativos com grande intensidade como a maioria dos setores, aproveitando-se do período para realizar investimentos, consolidar e ampliar seus negócios.

Seguindo esta visão, em pleno funcionamento, a unidade de realização do estudo está em expansão, finalizando a construção de uma nova unidade dedicada à produção de celulose.

Atualmente, na unidade de estudo, duas máquinas de papel são as responsáveis por toda a produção da família LPB, produto que tem destaque devido a sua aplicação na confecção de caixas de leite, sucos e líquidos em geral.

Enquanto a linha direcionada à máquina mais nova se responsabiliza pelos produtos mais críticos em termos de especificação, a linha mais antiga atende à demanda nacional e será o objeto de estudo do presente trabalho, devido a sua grande importância considerando as exigências atuais.

Com o foco do estudo de caso estabelecido sobre a produção de papel do tipo LPB, na linha que atende apenas a demanda nacional, considera-se o fluxo de produção estabelecido pela figura 15, o qual apresenta as diversas seções da máquina de papel e as etapas seguintes que levam até a expedição do produto final e será o fluxo utilizado no VSM.

Mesmo possuindo várias seções e permitindo a sua separação para o estudo a máquina de papel é considerada uma única etapa do processo neste estudo, sendo possível definir as métricas necessárias para construção dos mapas de fluxo de valor.

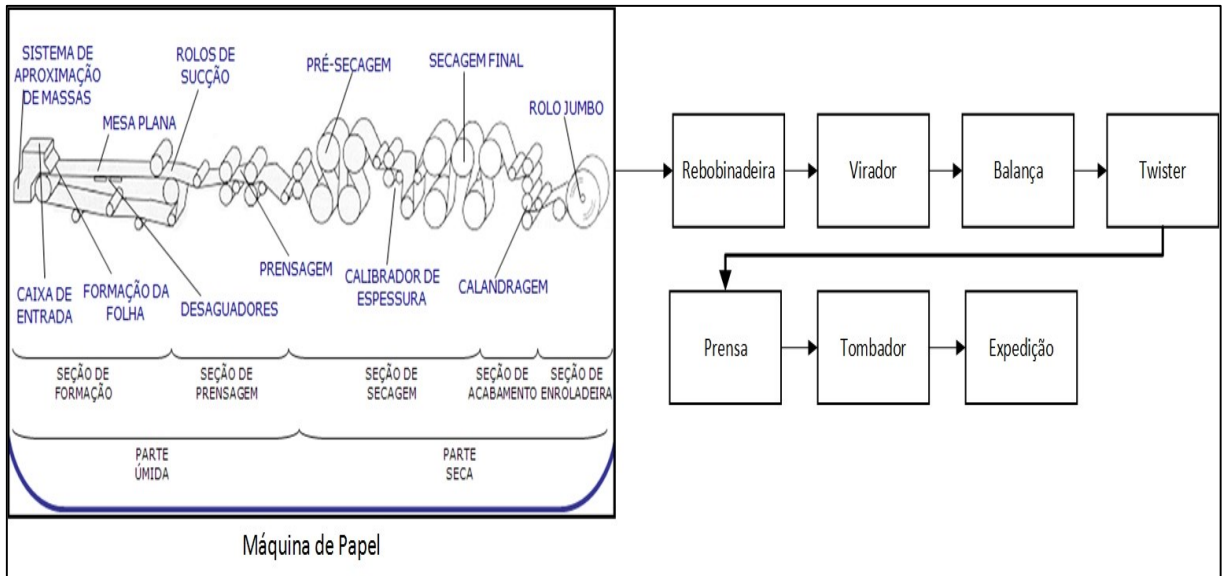


Figura 14 - Extrato do fluxograma de produção de papel em estudo  
Fonte: Elaboração própria (2016).

Considerando que o produto processado pela máquina de papel é um Rolo Jumbo e os demais processos processam bobinas em separado, fica definido como unidade para obtenção de tempo de ciclo o tempo de processamento de um rolo jumbo.

#### 4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS E DEFINIÇÕES DE TEMPOS DE CICLO

Como estabelecido em metodologia, quanto a obtenção de dados (etapa 2), Tempo de ciclo, OEE e Setup foram cedidos pelos engenheiros assistentes e operadores da máquina e obtidos também através de sensores em tempo real, os quais possuem interface com o usuário permitindo acessar dados históricos (*Plant Information*) e aumentando assim a confiabilidade dos valores obtidos.

Como ponto crítico da obtenção dos dados, se estabeleceu como sendo a etapa de rebobinamento, a qual sofre em demasia com a interferência da operação em seu tempo de ciclo e setup, sendo necessário realizar tomada de tempos manualmente através de filmagens.

Para melhor percepção, anteriormente às tomadas de tempo foi necessário estabelecer o ciclo completo da rebobinadeira (tempo de processamento de um rolo jumbo), como é visto na figura 16. Em termos de processo um rolo jumbo ao ser desbobinado em 4 tiradas de 4 bobinas cada, dá origem a 16 bobinas.

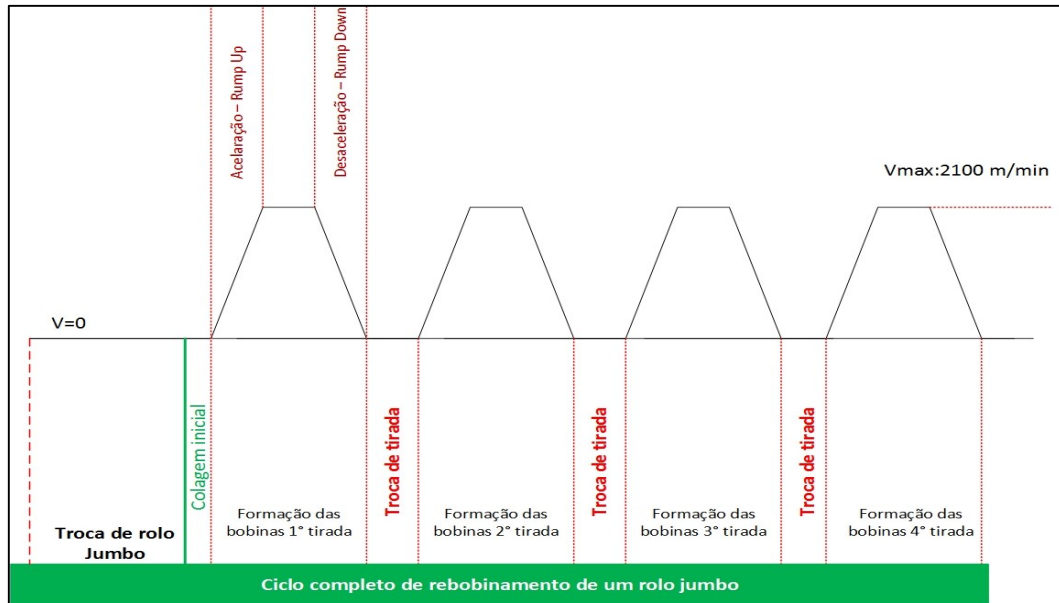


Figura 15 - Esquema do ciclo completo para processamento de um rolo jumbo na etapa de rebobinamento

Fonte: Elaboração Própria (2016)

Ao se considerar 3 turnos onde há o revezamento de 5 turmas diferentes (A, B,C,D,E) na escala 6 X 4, buscando o melhor tempo de ciclo obtido entre turnos e turmas, realizou-se análise estatística através do teste de Tukey com 95% de nível de confiança no *software* Minitab 17.

Em comparação entre turmas, quanto aos setups entre tiradas e de troca de rolo jumbo obteve-se os seguintes valores (Quadro 1).

COMPARAÇÃO ENTRE TURMAS				
	Setup entre tiradas		Setup troca Rolo Jumbo	
Turma	Amostras	Média (min)	Amostras	Média (min)
<b>A</b>	40	3,31	17	10,3
<b>B</b>	40	3,42	20	10,1
<b>C</b>	37	3,32	18	10
<b>D</b>	31	3,60	20	10,2
<b>E</b>	39	3,28	18	10,1

Quadro 1 – Valores de comparação entre turmas

Fonte: Elaboração Própria (2016)



Sendo possível a criação e análise dos *boxplots*, vistos nas figuras 17 e 18. A análise estatística demonstra que para setups entre tiradas há diferença significativa, agrupando como melhores tempos aqueles obtidos pelas turmas A, C e E.

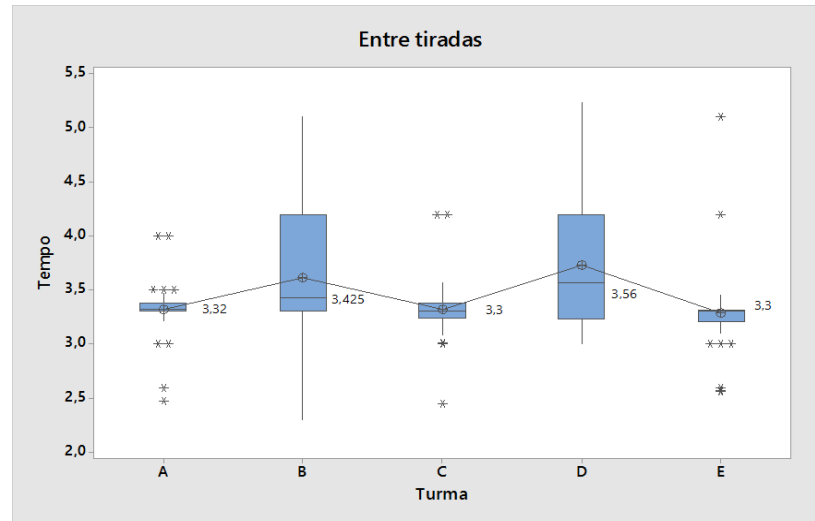


Figura 16 - Boxplot de comparação entre turmas e teste de Tukey para resultados obtidos entre tiradas

Fonte: Elaboração Própria (2016).

Em relação aos resultados apresentados para *setups* de troca de rolo jumbo não há diferença significativa entre as turmas.

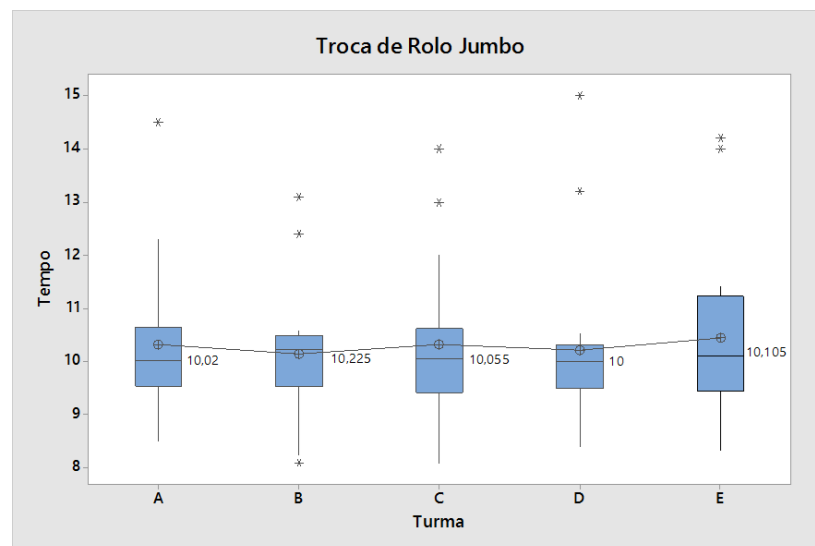


Figura 17 - Boxplot de comparação entre turmas e teste de Tukey para resultados obtidos em troca de Rolo Jumbo

Fonte: Elaboração própria (2016).

Também se realizou a comparação entre turnos, para valores obtidos em setups entre tiradas e na troca de rolo jumbo como visto no Quadro 2.

COMPARAÇÃO ENTRE TURNOS				
	Setup entre tiradas		Setup troca Rolo Jumbo	
Turno	Amostras	Média (min)	Amostras	Média (min)
1	29	3,31	30	10,31
2	30	3,47	29	10,11
3	31	3,54	31	10,38

Quadro 2 – Valores de comparação entre turnos  
Fonte : Elaboração Própria (2016)

Sendo possível a criação e análise dos *boxplots*, vistos nas figuras 19 e 20. Nesse caso a análise estatística demonstra que não há diferença significativa entre as médias analisadas para ambos os setups.

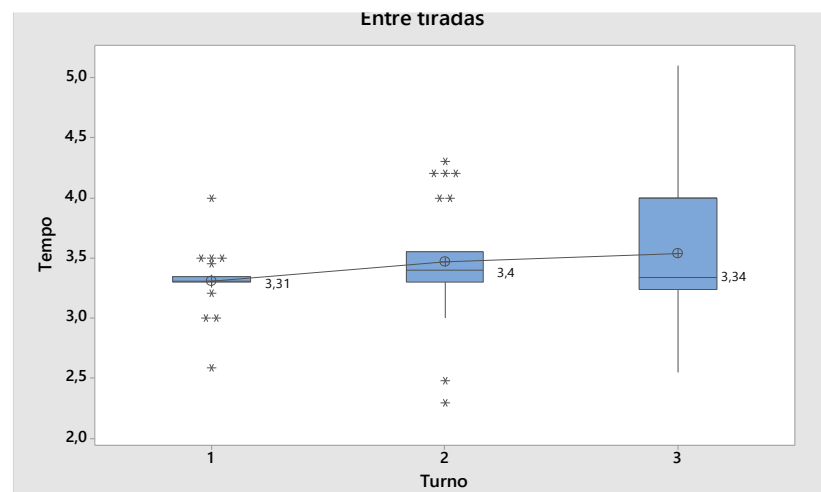


Figura 18 - Boxplot de comparação entre turnos e teste de Tukey para resultados entre tiradas  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

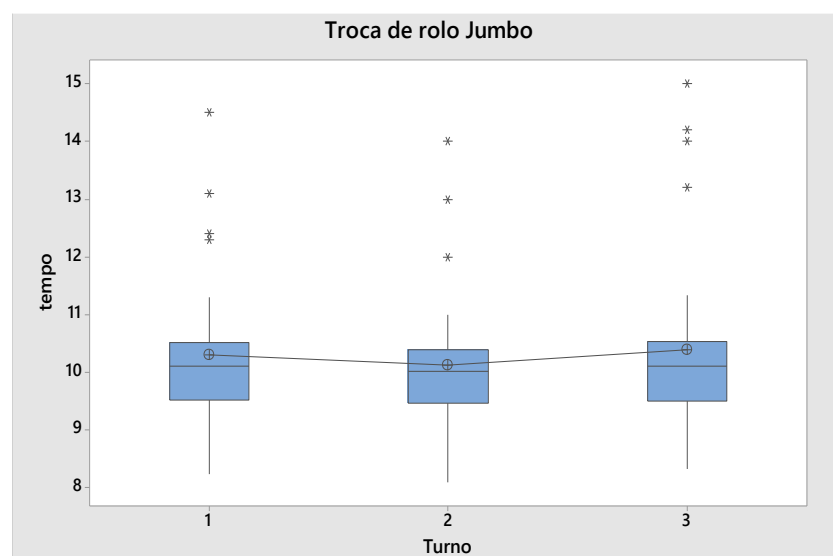


Figura 19 - Boxplot de comparação entre turnos e teste de Tukey para resultados obtidos em troca de Rolo Jumbo  
Fonte: Elaboração Própria (2016).

Com base na análise estatística onde houve diferença significativa apenas para setups entre tiradas, tomou-se como benchmarking os tempos apresentados pelas turmas A, C e E.

Tempo padrão de ciclo rebobinadeira		
	Tempo (min)	
Setup Troca de rolo jumbo	10	tempo <i>benchmarking</i>
Tempo de ciclo (1° tirada)	4,5	tempo médio baseado em histórico de 1 ano
Setup entre tiradas	3,5	tempo <i>benchmarking</i>
Tempo de ciclo (2° tirada)	4,5	
Setup entre tiradas	3,5	
Tempo de ciclo (3° tirada)	4,5	
Setup entre tiradas	3,5	
Tempo de ciclo (4° tirada)	4,5	
Tempo de ciclo total	38,5	

Figura 20 - Composição do tempo padrão adotado para o ciclo completo de Rebobinadeira  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

Nesse sentido, tomou-se como valor de tempo de ciclo total da rebobinadeira o valor de 38,5 minutos para processamento de um rolo jumbo na seguinte composição:

#### 4.2 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL

De posse dos dados de processo e do fluxo de informações, foi desenvolvido o mapeamento do fluxo de valor do estado atual (**APÊNDICE A**), no qual se verifica uma demanda em torno de 8000 bobinas por mês do cliente nacional da família LPB. Essa demanda possui alta variação, de até 2000 bobinas/mês, e por isso exige negociações intensas por parte do PCP da empresa. Em termos de cálculo é utilizado o valor máximo de 8000 bobinas uma vez que a produção é empurrada.

Quanto ao tempo de trabalho disponível para produção, a empresa trabalha 30 dias por mês, 24 horas por dia em 3 turnos, porém de acordo com a programação de produção por bateladas, em média a linha estudada trabalha com a família LPB 13 dias por mês. Assim, de acordo com esses dados, há 1440x13 min/mês disponíveis para produção, e com uma demanda de 8.000 bobinas ao mês, chega-se, conforme a equação 4, a um *takt time* de 2,34 min/bobina, o que representa 37,44 min/Rolo Jumbo (uma vez que cada rolo jumbo dá origem a 16 bobinas).

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo de trabalho disponivel por turno}}{\text{Volume de demanda do cliente por turno}}$$

Em relação a matéria prima, a mesma é contínua, sendo as fibras estocadas em torres com alta capacidade, e em virtude do foco sobre a linha de produção de papel, o fluxo desta linha é considerado a partir de sua entrada na caixa de entrada da máquina de papel representando um estoque aproximado de 256 minutos de produção equivalentes a 8 rolos jumbo.

Verifica-se também no mapa de estado atual (APENDICE A), o valor de *lead time* para esta família de 5,53 dias, sendo que o tempo de processamento é de apenas 3 horas e 35 minutos, onde a explicação para tamanha diferença entre lead time e tempo de agregação de valor, são os estoques tanto entre processos como de produto acabado.

O atendimento da demanda em meses que a mesma atende valor máximo de 8.000, existe reposição feita por linha alternativa que possui cerca do dobro da capacidade da linha de estudo.

#### 4.3 IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS

De acordo com a metodologia proposta e após a realização do Mapa de Fluxo de Valor do estado atual, realizando as análises dos dados e de acordo com o acompanhamento diário do processo produtivo, foram encontrados pontos de desperdício e oportunidades de melhoria, descritos a seguir:

**1. Rebobinadeira** – Ao considerar-se um *takt time* de 37,44 min/Rolo Jumbo, e o tempo de ciclo da máquina de papel de 32 min/ Rolo jumbo, define-se a etapa de rebobinamento (TC= 38,5 min/Rolo Jumbo) como gargalo tanto para o processo e para a máquina de papel. Em virtude da diferença de tempo de ciclo entre Máquina de Papel e Rebobinadeira, o espaço atual existente para espera na rebobinadeira de 4 rolos jumbo não é suficiente, fazendo com que rolos jumbo tenham que ser retirados para as laterais da máquina (figura 22).



Figura 21 - Rolo Jumbo retirado da linha por falta de espaço  
Fonte: Empresa de Estudo (2016).

Nesta mesma linha de análise, a etapa anterior da máquina de papel também pode ser vista como restrição para o processo, porém com menores chances de intervenções. Sendo assim, considerando um tempo de ciclo de 32 minutos/rolo jumbo há uma oportunidade de melhoria de até 6,5 minutos/Rolo jumbo (diferença entre o tempo de ciclo na rebobinadeira 38,5 minutos e máquina de papel 32 minutos – Ver APENDICE A) no processo com atuações na rebobinadeira.

Além disso, como mencionado anteriormente na seção 4.1, a etapa de rebobinamento (figura 23) é uma etapa que sofre muita influência da operação e seus desvios, apresentando não só oportunidades de melhoria quanto ao tempo de ciclo, mas também no que diz respeito à excesso de movimentação, segurança e ergonomia dos operadores.

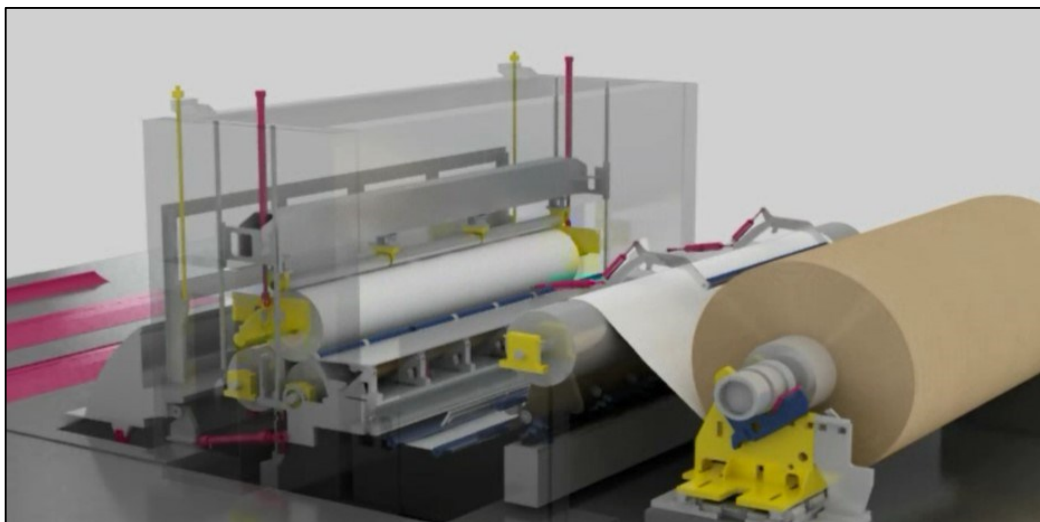


Figura 22 - Seção de rebobinamento e corte  
.Fonte: Empresa de Estudo (2016)

**2. Work in Process** – Entre os processos de máquina de papel e rebobinadeira e entre rebobinadeira e virador, observam-se dois pontos de estoque entre processos, sobre os quais há claramente oportunidade de melhoria quanto ao estoque gerado pela rebobinadeira. Este estoque existe pois o sistema de produção não é puxado e também devido à falta de sincronismo dos operadores da linha que precisam realizar a colagem de papel no tubete (entre tiradas) e ao mesmo tempo, realizar a colagem de etiqueta de rastreabilidade na bobina produzida. Em virtude disso a cada tirada existe um tempo de espera para a colocação de etiquetas, gerando estoque de bobinas no transporte até a próxima etapa.

Ao avaliar o dia a dia da operação específica entre esses dois processos, verificou-se que bobinas finalizadas ficam paradas na esteira dependendo dos operadores de rebobinadeira que as envie para o processo seguinte (figura 24). Isso ocorre, pois, apesar de haver um ponto de parada assim que as bobinas são finalizadas, a operação realiza a colagem das etiquetas de identificação apenas em cima da esteira de transporte, não permitindo fluxo contínuo de bobinas e muitas vezes gerando a necessidade de colocar bobinas em espera fora da esteira, quando ocorre liberação de muitas bobinas em sequência.



Figura 23 - Bobinas acumuladas em processo  
Fonte: Empresa de Estudo (2016)

**3. Twister** – Geração de fila para o processo, devido a quebras no equipamento e também a disponibilidade de material (discos de embalagem) que é abastecido pelo único operador enquanto realiza suas atividades de rotina;

Em relação a ocorrência de quebras no Twister, fator que afeta diretamente o OEE dessa etapa, baseando-se na filosofia de autonomia, verificou-se em contato com o operador que o mesmo percebe claramente os indícios de quebra do equipamento, porém, não é orientado para atuar, ou parar o processo antes que ocorra a quebra.

**4. Prensa –** Ocorrência de diversos atrasos e geração de fila de bobinas em virtude da reposição de materiais (discos de embalagem) no momento da necessidade, sendo o próprio operador responsável pela alimentação de componentes da embalagem;

**5. Superprodução / Custo da não qualidade –** Ao trabalhar sobre bateladas, a programação leva em consideração as paradas não programadas da máquina e também as desclassificações de materiais, que são a forma de reduzir a perda de material que deveria ir para o cliente principal e acaba ainda que apresentando algum defeito, atendendo os requisitos de clientes menos exigentes.

De qualquer forma nem sempre essas desclassificações possuem saída para mercado, ficando por muito tempo no estoque e além de ocuparem espaços preciosos no depósito da empresa também caracterizam a superprodução.

Nesse sentido, o cenário que se encontra ao verificar-se os estoques atuais da empresa é de um total de 58.399 toneladas equivalentes a aproximadamente 26.000 bobinas, sendo que desta quantidade, 20.507 toneladas são de LPB que por questões de maior exigência do cliente acumulam valores de estoque com restrição de qualidade de 2.424 toneladas, aproximadamente 12% do estoque de LPB, como pode-se verificar na figura 25.

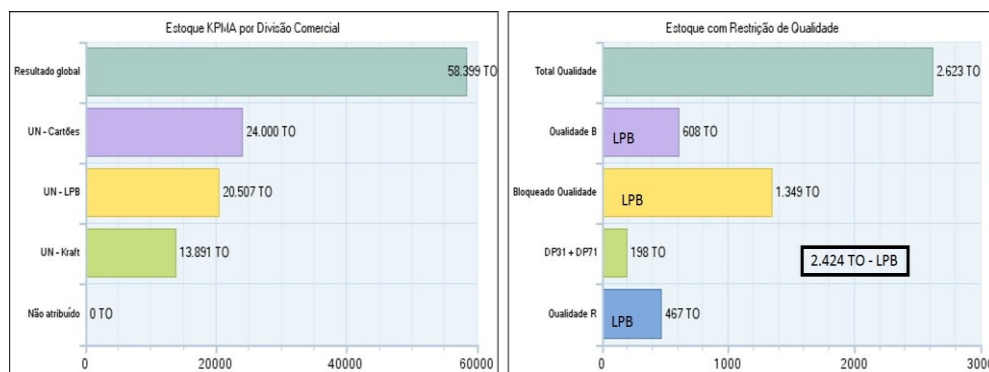


Figura 24 - Estoques com restrição de qualidade  
Fonte: Elaboração própria (2016)

Os estoques destinados a Qualidade B são bobinas que possivelmente podem ser desclassificados para atender clientes menos exigentes, porém a taxa de desclassificação é muito baixa. Os estoques definidos como Bloqueado Qualidade são defeitos que não permitem desclassificação e assim acabam ficando sem destinação, sendo que o mesmo ocorre com os estoques classificados como Qualidade R que são oriundos de devolução do cliente.

**6. Alto tempo de Setup** – Principalmente na Máquina de papel, facilmente verifica-se um alto valor para o tempo de setup, apresentando como consequência um valor de OEE relativamente baixo;

**7. Evento Kaizen** – Atualmente a área de qualidade é responsável por um evento Kaizen que deveria ocorrer todas as quintas, porém o mesmo está desestruturado, uma vez que é visível a falta de objetivo do evento em si, fazendo com que apenas ocorram conversas entre os operadores e os coordenadores sobre a situação da área e verificação de pontos apenas relacionados ao 5S e não a melhoria contínua de processo e garantia da qualidade, o qual deveria ser o foco do evento;

**8. Estoque produto acabado** – Verifica-se que a quantidade de estoque de produto acabado é consideravelmente alta, cobrindo em média 10 dias de produção (figura 26).

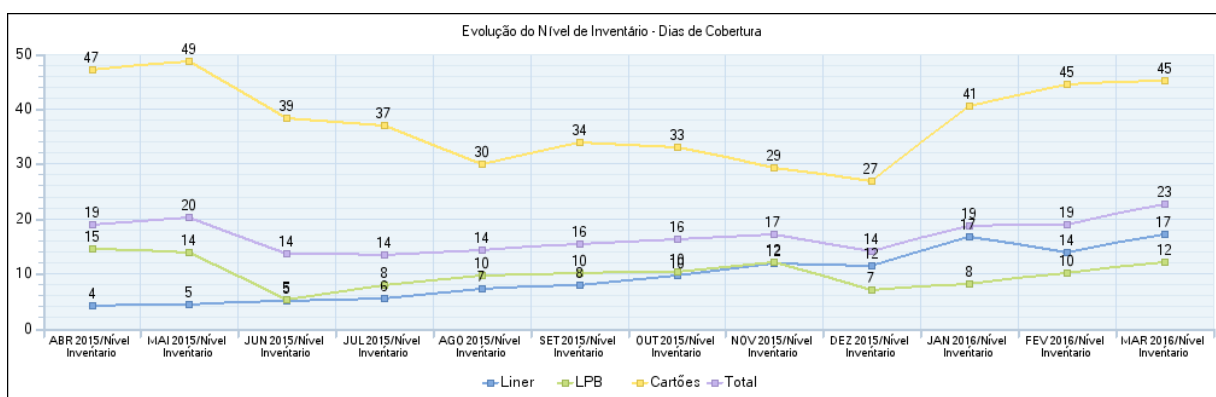


Figura 25 - Dias de cobertura (estoque de produto acabado LPB)  
Fonte: Empresa de estudo (2016).



Considerando que o cliente busca trabalhar em seu sistema obedecendo ao máximo a filosofia Just in Time, atualmente o cenário que se encontra é de estoque zero no cliente e grandes quantidades de estoque na empresa em estudo, obrigando que seja realizada todos os dias uma grande operação logística envolvendo de 12 a 14 cargas completas em trajetos de 5,5 horas e 13 horas.

#### 4.4 PROPOSTAS PARA MELHORIA E REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS

Para cada um dos pontos de desperdícios encontrados através do estudo do processo de fabricação da família LPB, foi definida uma proposta de ação para redução ou eliminação desse desperdício, o que pode-se verificar na sequência.

##### 1. Adaptação tecnológica do sistema de colagem na rebobinadeira (manual para automática)

Consiste em automatizar o setup entre tiradas, que hoje é realizado de forma manual, aplicando-se a tecnologia *one step*, o qual possui um custo final de aproximadamente R\$ 7.000.000. O sistema funciona de forma em que um bico aplicador preso por uma viga, realiza duas aplicações em toda a largura do papel sendo uma para fechamento da bobina e outra para colagem no tubete como pode-se ver na figura 27.

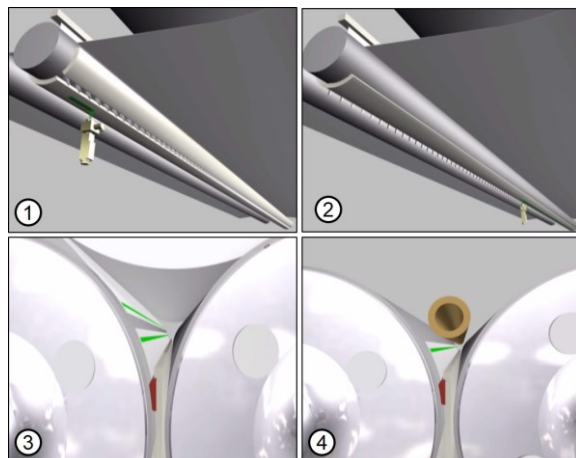


Figura 26 – Funcionamento sistema de colagem automática  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

Esta ação, conforme projeto de colagem automática entre tiradas, já iniciado em conjunto com o fabricante da máquina de papel em questão, irá impactar em diversos aspectos do processo, sendo ressaltada sua importância em termos de ergonomia. Com apenas o apelo ergonômico o projeto não foi aprovado em um primeiro momento, resultando em uma demanda por estudos mais aprofundados que apresentassem a viabilidade do projeto em termos de métricas *lean* (tempo de ciclo), possibilidade de faturamento, e então os ganhos operacionais.

Em primeira mão visando a realização do mapeamento de estado futuro, verificou-se as especificações do projeto junto ao fornecedor da nova tecnologia, constatando que, atualmente a composição do tempo de ciclo de um Rolo Jumbo considera cada setup entre tiradas com trabalho manual de 3,5 minutos, totalizando 10,5 minutos em setups entre tiradas no processamento completo.

Conforme as especificações de projeto com colagem automática, o setup entre tiradas será de no máximo 40 segundos por tirada, totalizando 2 minutos em setups entre tiradas no processamento completo, uma redução de 8,5 minutos no tempo de ciclo total no processo de rebobinamento de um rolo Jumbo.

## **2. Elaboração de procedimentos para padronização do trabalho**

Como verificado através do teste estatístico de Tukey na etapa de obtenção dos dados, e observado em processo produtivo, verifica-se que existe variação na maneira em que os trabalhadores realizam as atividades.

Trabalhadores de turnos diferentes, turmas diferentes possuem hábitos diferentes, apesar disso não ser constatado no teste realizado na rebobinadeira em termos de variações entre turnos é possível afirmar que essa diferença de fato existe. Como consequência, ocorre uma variação nos tempos das atividades.

Propõe-se a elaboração dos procedimentos de trabalho padronizado, utilizando como *benchmarking* as turmas que obtiveram melhores resultados em teste estatístico, assim será possível reduzir as variações de tempo entre operações e entre turnos.

### **3. Sincronismo entre processo e operação / alteração para processo puxado**

Com relação ao *Work in Process* mencionado como oportunidade de melhoria, o estoque gerado entre máquina de papel e rebobinadeira é claramente consequência do tempo de ciclo da rebobinadeira ser maior que o da máquina de papel e por ser gargalo do processo, gera estoque de espera. Para este fato a atuação na rebobinadeira reduzindo o tempo de ciclo impactará neste *Work in process*, eliminando-o.

Quanto ao estoque entre os processos de rebobinamento e virador, propõe-se que o processo sucessor ative a esteira atuando como processo “puxador”, exigindo que a colocação de etiquetas e fechamento de bobina sejam realizados assim que as bobinas deixem a concha da rebobinadeira, sincronizando dessa forma a operação e o processo permitindo um fluxo contínuo de materiais entre esses processos.

### **4. Automação / Abastecimento de materiais no Twister e Prensa em rota Kanban**

Devido a percepção quanto a experiência da operação em virtude do contato diário com o equipamento (Twister), propõe-se como ação para essa etapa, baseando-se em um dos pilares do TPM (manutenção autônoma), treinar os operadores para a realização de pequenos reparos e definir como procedimento autonomia para a operação contatar equipe mecânica e/ou automação para verificação preventiva, evitando quebras ou reduzindo tempos de parada por indisponibilidade do equipamento.

Em relação ao abastecimento de materiais realizado pelo próprio operador (Twister e Prensa), que como consequência faz com que o processo seja parado, propõe-se a criação de uma rota kanban para que exista sempre reabastecimento sem que o operador tenha que sair de seu posto de trabalho para buscar tampões.

Ao considerar-se a capacidade atual diária da máquina de papel de produção de 40 rolos jumbo, que geram 640 bobinas, percebe-se a necessidade diária somando os processos de prensa e twister de 2560 tampões.

Ao considerar 3 turnos sabendo que o tempo de ressurgimento é de 35 minutos em média e tomando o estoque de segurança como 250 tampões de acordo com a

equação 1 presente no referencial deste trabalho, o tamanho do supermercado seria de 4 kanbans em containers de 100 unidades ou seja 400 tampões.

## **5. Envio de material para desagregação e refugo visando reduzir Superprodução, estoque sem destinação**

Esta proposta se dá em forma de sugestões de tratamento e destinação para estoques parados por motivo de qualidade, gerando desperdícios de faturamento e ocupando espaço de armazenamento.

- **Estoques qualidade B:** Estabelecer critérios de avaliação que permitam definir no momento do bloqueio de material se o mesmo realmente tem possibilidades de ser reclassificado ou retrabalhados;
- **Bloqueio de Qualidade:** Estes defeitos não permitem desclassificação, pois são muito visíveis, afetam as principais propriedades do papel para embalagem de líquidos e/ou são de natureza que afeta saúde e segurança alimentar. Nesse caso deve ser criado procedimento e uma equipe responsável por analisar o material que se encontra em estoque visando liberação de espaço com o intuito de verificar a possibilidade de desagregação gerando assim fibras para as camadas intermediárias do papel ou destinando material para seção de reciclagem.
- **Qualidade R:** Como estes materiais foram devolvidos, deve-se realizar análises quanto ao motivo de devolução e verificar a possibilidade de desclassificação ou toma-se a mesma medida proposta para os materiais classificados como bloqueio qualidade.

Acredita-se que com essas ações pode-se reduzir a zero o estoque de devolução do cliente e em mais de 50% o estoque bloqueado por qualidade considerando que a origem não seja manchas de óleo, graxa ou insetos.

## **6. Implementação de SMED na máquina de papel e rebobinadeira**

Como verificou-se no Mapa de Fluxo de valor atual, os processos gargalos do processo analisado, são a máquina de papel e a rebobinadeira.

Em chão de fábrica fica evidente que praticamente todas as intervenções são classificadas como setup interno, sendo assim com o uso das técnicas do SMED, os tempos de setup realmente serão reduzidos, pois ocorre desperdício de tempo desnecessário e que será eliminado com as técnicas do SMED, buscando transformar alguns setups internos em externos.

Assim espera-se que o processo tenha os seguintes benefícios:

- Redução do tempo de setup;
- Aumento da produtividade (espera-se alcançar pelo menos 75% em OEE da Máquina de Papel);
- Aumento de atividades que o operador poderá realizar.

## **7. Reestruturação do evento Kaizen**

Como se sabe, na metodologia *lean* é evidenciado que muitas melhorias e reduções de desperdícios podem ser alcançados se discutidos em um evento Kaizen. Tem-se como premissa que em eventos Kaizen os operadores se sentem mais à vontade para apontar dificuldades, falhas no processo e idéias de melhoria.

Atualmente como constatado na seção de oportunidades de melhoria, esse evento está desestruturado e muitas vezes não ocorre como deveria, não gerando os efeitos esperados.

Como proposta neste trabalho, sugere-se que seja criada uma agenda na qual uma dupla sendo um integrante da área da Qualidade e outro do Desenvolvimento de Processos sejam os responsáveis por garantir que esta reunião ocorra de fato uma vez por semana nas etapas do processo.

Também visando um melhor andamento da reunião, deve-se alinhar com os organizadores a metodologia, e a visão do evento Kaizen para evitar que se perca o foco das reuniões e também evitar que as reuniões não se tornem “auditorias”, fazendo com que os operadores se sintam pressionados e assim não colaborem para o levantamento de pontos críticos.

Percebe-se que apesar de ser um tema muito abordado dentro da empresa, por questões de forma de aplicação, a cultura de melhoria continua não está enraizada na operação, acredita-se que com essa proposta, a cultura de melhoria continua será aos poucos firmada, trazendo inúmeras melhorias para o processo como um todo.

## 8. Criação de Supermercado de produto acabado

Considera-se aqui como motivadores de uma intervenção:

- O risco operacional em virtude da existência de estoques em trajeto, onde ocasiões inesperadas podem fazer com que linhas de produção sejam paradas no cliente em virtude de falta de material;
- A dificuldade logística do gerenciamento de várias cargas diárias ao cliente;
- A dificuldade operacional com a manutenção de estoques;
- O desperdício da produção em quantidades maiores do que a necessidade do cliente.

Também deve-se expor o interesse do cliente em criar esse ambiente, onde exista maior horizonte de planejamento e de fato um alívio operacional. A empresa de estudo hoje pratica uma técnica muito parecida com o conceito de supermercados aplicada principalmente a seus clientes de exportação e cartões.

Na figura 25 pode-se verificar a quantidade de estoque geral em consignação (depósito alternativos de clientes e/ou transportadoras), localizados no porto esperando para embarque e os estoques na unidade (em azul).

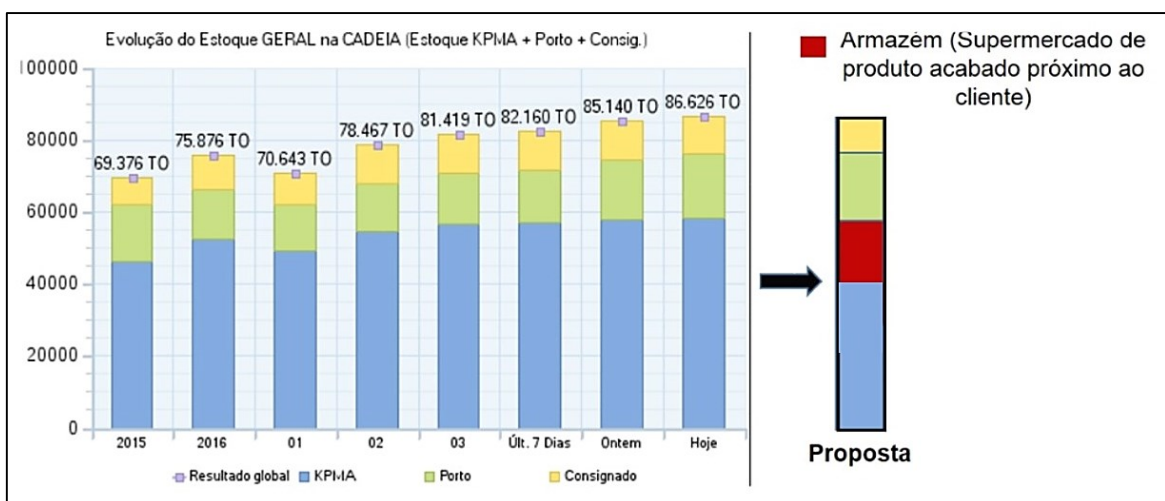


Figura 27 - Evolução do estoque Geral e Proposta  
Fonte: Elaboração Própria (2016).

Sendo assim propõe-se a criação de um supermercado de produtos acabados em armazém localizado próximo a unidade do cliente que fica há 5,5 horas (CLIENTE T PR), o qual é responsável pela demanda de 6000 bobinas/mês do produto LPB e demonstrou interesse prévio em operacionalizar seus estoques desta maneira.

É importante ressaltar que em primeiro momento não será proposto o sistema para a unidade que fica a 13 horas (CLIENTE T SP), o qual não se sente confortável com este sistema. Essa definição implica em manter uma certa quantidade de estoque de produto acabado no processo em questão (APENDICE C).

De acordo com a equação 1, considerando um estoque de segurança de 10% e containers (cargas de 16 bobinas), o supermercado será de 125 kanbans, correspondentes a 2000 bobinas.

Através dessa ação espera-se desafogar a operação da unidade em termos de movimentação e armazenamento de produto acabado, e acima de tudo proporcionar maior fluidez do processo como um todo.

Considerando que haverá maior segurança quanto aos estoques e maiores horizontes de produção isso proporcionará a empresa em estudo adquirir novas demandas de pequenos clientes, as quais hoje são negadas devido à falta de espaço físico e na janela de programação.

#### 4.5 MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO

Conforme consta em metodologia, verificou-se a existência de todos os dados para a construção do mapa de fluxo de valor do estado futuro, e ao constatar-se que todos os dados estavam disponíveis de acordo com as propostas de melhoria sugeridas, montou-se o VSM do estado atual com as indicações de melhoria (APENDICE B) e o estado futuro com as devidas implementações (APENDICE C).

#### 4.6 IMPLEMENTAÇÃO VIA SIMULAÇÃO

Apenas considerando os ganhos apontados pelas métricas *lean* (*Takt* Time, TAV, TNAV e Lead Time), alguns aspectos de ganhos acabam não são visíveis

apenas através desses valores. Desta forma, utilizar-se do recurso da simulação do processo acaba sendo bastante relevante.

Assim buscou-se modelar o processo em análise de forma discreta, conforme ilustrado na figura 26, utilizando o software de simulação ARENA®.

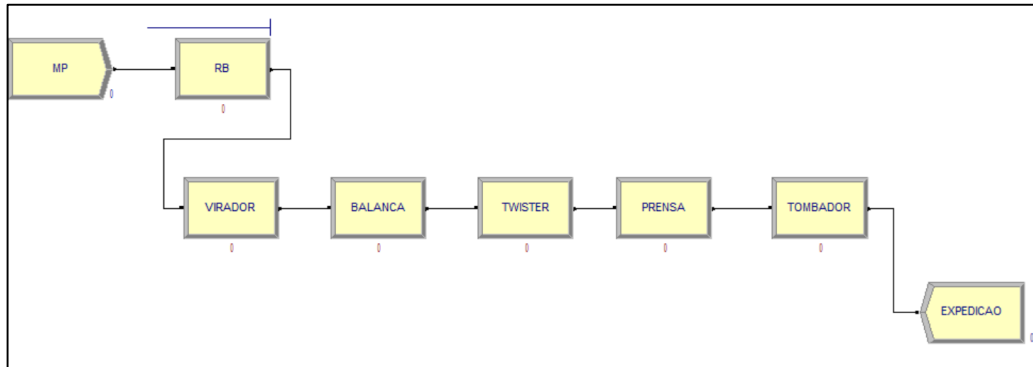


Figura 28 - Modelo de simulação  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

O modelo simula 24 horas de produção, e considera como uma entidade 1 rolo jumbo (16 bobinas). Todos os dados foram inseridos no programa de acordo com os tempos de ciclo já demonstrados nos Mapas de Fluxo de Valor.

Foram verificados dois cenários, onde as principais alterações observadas foram a proposta 1 e a proposta 4.

**Cenário 1:** Estado Atual;

**Cenário 2:** Estado Futuro considerando a implementação de melhoria na Rebobinadeira.

O principal objetivo da simulação neste caso foi de comparar a fluidez do processo após as implementações sugeridas, geração de filas e possíveis ganhos que não são visíveis através dos VSM's.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como constatado por Saurin et al. (2010), em pesquisa relatada na seção 2.4, percebeu-se a dificuldade de adaptação e utilização das ferramentas, principalmente por se tratar de ambiente de fluxo contínuo e a resistência por parte dos responsáveis pelo processo em buscar enxergar o sistema de produção por um novo ponto de vista.

Ao seguir a metodologia, após o desenvolvimento das propostas de melhoria e simulação do processo com base no estado atual, espera-se obter os seguintes resultados em estado futuro.

### 5.1 MÉTRICAS LEAN

Em termos de métricas *lean* comparando estado atual e estado futuro, houve melhoria quanto a lead time, a qual se dá principalmente relacionada à redução significativa de estoque de produto acabado de 5,33 dias para 2,77 dias, obtida através da proposta de um supermercado de produto acabado, que de fato representa também um impacto considerável sobre o horizonte de planejamento da empresa em estudo, possibilitando a empresa atender novas pequenas demandas que antes eram rejeitadas. Isso tudo devido ao maior controle que se tem em produzir quantidades com mais coerência com a necessidade do cliente.

Quanto a melhoria de apenas 4,4% obtida em relação ao TAV, o mesmo se dá referente a melhora de 22% no tempo de ciclo da rebobinadeira, essa melhoria apesar de parecer pequena em relação as demais melhorias é uma das mais importantes e gera várias oportunidades/melhorias como tratado na seção 5.2 e 5.3 e tem impacto direto quanto a redução do WIP.

Apresentou-se também uma melhoria de aproximadamente 50% para estoques entre processos

### 5.2 FLUIDEZ DO PROCESSO (ELIMINAÇÃO DE FILAS)

Ressalta-se aqui importância da simulação como agente auxiliar, mostrando percepções que não são visíveis apenas com os mapas de fluxo valor. Como pode-se verificar através da figura 27, há formação de filas no estado atual, entre a etapa de MP e Rebobinadeira, gerando filas de até 8 rolos jumbo, sendo que o processo

suporta até 4 rolos jumbo de fila. Isso justifica a operação retirar rolos para a lateral da máquina e também muitas vezes a redução de velocidade de processo.

Também há geração de uma fila pequena no processo entre as etapas de Balança e Prensa, devido a necessidade de em cada início de turno existir 35 minutos para abastecimento de discos dificultando a fluidez do processo.

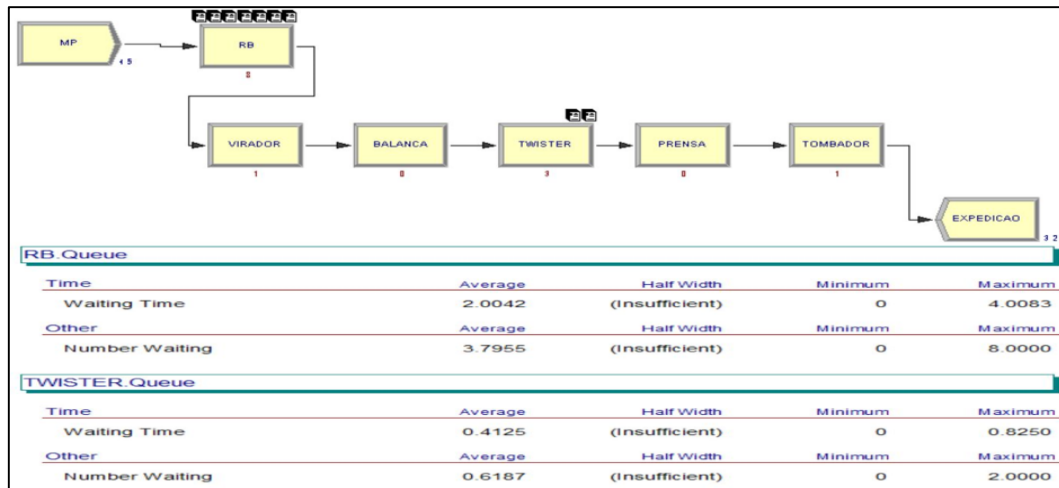


Figura 29 - Simulação cenário 1 estado atual  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

Após o ganho de 4,4% obtido através da proposta de melhoria de adaptação na rebobinadeira e o supermercado de discos, observa-se que não existem mais filas, ou seja, obteve-se maior fluidez no processo conforme a figura 28.

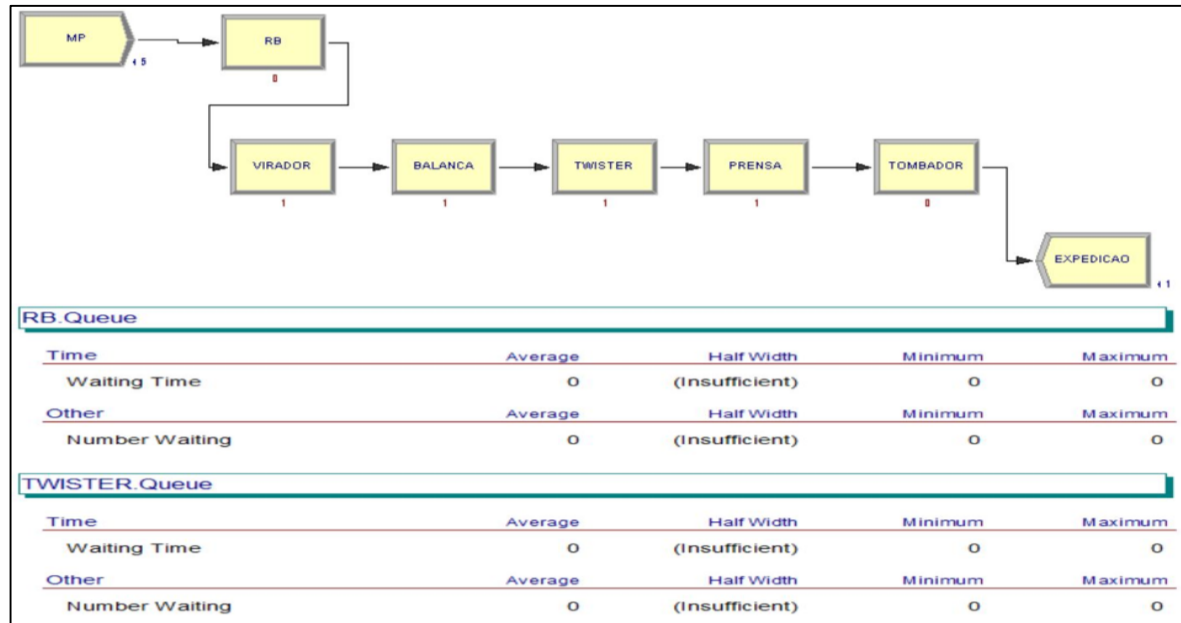


Figura 30 - Simulação cenário 2 estado futuro  
Fonte: Elaboração própria (2016)

Em termos de ganhos, uma vez que não se geram filas no processo, considerando as circunstâncias futuras e uma melhoria quanto ao OEE da máquina de papel para 75% já estabelecida como meta, a produção de 34 rolos jumbo, 3 rolos a mais do que se produz diariamente no cenário atual.

Em valores esse ganho representa a possibilidade de um faturamento de aproximadamente R\$ 3.800.000 maior ao mês, deixando clara a lucratividade e viabilidade do projeto em questão, lembrando que os ganhos aqui abordados serão parte da argumentação que pode levar novamente para a etapa de aprovações o projeto *one step*.

### 5.3 GANHOS OPERACIONAIS E QUALITATIVOS

#### 5.3.1 Ganhos Operacionais Projeto *One Step*

Quanto as melhorias qualitativas de operação, também se considera como resultados positivos as premissas estabelecidas nas propostas do projeto *One Step*, os quais como mencionado anteriormente, para sua aprovação precisa apresentar melhoras significativas ao processo além de ergonomia.

Nesse sentido considerando a implantação do projeto, será obtido:

### a. REDUÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO DESNECESSÁRIA

A operação de rebobinadeira de forma manual exige deslocamento constante da operação sendo repetido até 45 vezes por turno o movimento de ir até a seção de rebobinamento e realizar a colagem e o movimento de ir até a seção de rebobinamento e realizar ajuste e liberar o rolo de tração.

Neste caso, assume-se que ao implantar o sistema de colagem automática, as rotas traçadas em azul e vermelho na figura 32, serão eliminadas.

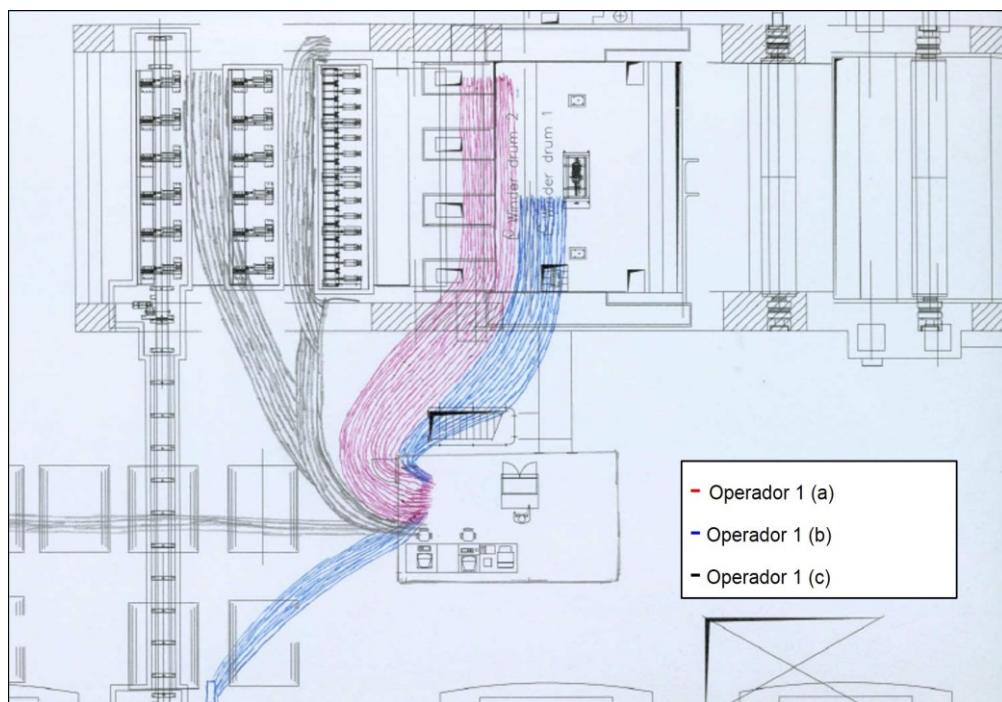


Figura 31 - *Travel Chart* rebobinadeira

Fonte: Elaboração Própria e Time de Projetos Empresa de Estudo (2016).

### b. MELHORIA ERGONÔMICA DA OPERAÇÃO E SEGURANÇA

O aspecto ergonômico, como já mencionado anteriormente era o primeiro argumento do projeto, onde a operação manual está sujeita a postura inadequada que se repete inúmeras vezes durante o expediente e o fato de que os rolos onde os operadores se debruçam para realizar a colagem do papel no tubete estão a uma temperatura de aproximadamente 40°C causando desconforto e riscos de queimadura. Com relação ao aspecto de segurança se dá por conta da atual necessidade do operador se colocar entre os rolos.

Com a implantação do sistema automático as situações citadas anteriormente e evidenciadas na figura 33 serão eliminadas melhorando assim em termos de ergonomia e segurança a realização da atividade.



Figura 32 - Visualização operação da rebobinadeira em relação a ergonomia  
Fonte: Elaboração Própria (2016)

### 5.3.2 Ganhos Operacionais Gerais

Além dos ganhos obtidos através do projeto *One Step*, as demais propostas, possibilitam como ganhos operacionais:

- Uma maior padronização da forma de trabalho, fazendo com que não exista uma discrepância quanto aos tempos de setup, onde o trabalho permanece manual.
- Agilidade no processamento de destinação de produtos por bloqueio de qualidade, os quais não ocuparão o estoque sem tempo determinado como ocorre no cenário atual, e também oportunizando uma redução das perdas quanto a possibilidade de reaproveitamento.
- Aumento do OEE com a aplicação de SMED na máquina.

### 5.3.3 Outros Ganhos Qualitativos

Além dos ganhos operacionais mencionados, espera-se com a implantação de todos as propostas os seguintes ganhos qualitativos:

- Criação e manutenção da cultura de melhoria continua;
- Melhor relacionamento com o principal cliente nacional em virtude da aproximação em sistema de supermercado de produto acabado.

#### 5.4 QUANTIFICAÇÃO DOS GANHOS GERAIS

Com a intenção de agrupar todos os resultados, segue o Quadro 3.

Métricas	Métrica	Estado Atual	Estado Futuro	% de melhoria
	<i>Lead Time</i>	5,53 dias	2,87 dias	48,10%
	Tempo de Agregação de Valor	13210 seg	12632 seg	4,40%
	Tempo de ciclo Rebobinadeira	2310 seg	1800 seg	22%
	<i>Work in Process</i>	0,201 dias	0,1 dias	50,20%
Operacionais	Estoque Produto Acabado	5,33 dias	2,77 dias	48%
	Fluidez do Processo (Filas)	Até 8 Rolos na RB	Nenhum Rolo de fila no processo	100%
	Movimentação desnecessária Operação	5 movimentos repetidos até 45 vezes/turno	2 movimentos repetidos até 45 vezes/turno	60%
Qualitativos	Ergonomia Posição /Temperatura	Condição Existente	Condição Eliminada	100%
	Padronização de trabalho (setups)	Não	Sim	x
	Destinação de produtos sob bloqueio de qualidade	Não	Sim	x
	Criação/Manutenção cultura melhoria contínua	Desestruturado	Reestruturado	x
	Relacionamento com o principal cliente	Existente	Fortalecido	x

Quadro 3 – Resultados Gerais (Ganhos obtidos em três dimensões).  
Fonte: Elaboração Própria (2016).

O quadro 3 ressalta a importância do trabalho permitindo a visualização de resultados em três grandes dimensões, sendo Métricas Lean, Operacionais e Qualitativos.

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi propor melhorias através das técnicas do *lean manufacturing*, com o auxílio de simulação em um processo de produção de papel, onde os resultados aqui apresentados podem contribuir tanto para pesquisadores como para profissionais do setor papeleiro.

Foram utilizadas diversas ferramentas do *lean manufacturing* e da Engenharia de Produção em geral para tratar os dados e demonstrar que dentro do que se propôs foi possível atingir um resultado satisfatório.

Ao seguir a metodologia proposta, em sequência foram atingidos os objetivos específicos, com a realização do mapa de fluxo de valor do estado atual, em seguida por meio de sua análise, a verificação de oportunidades de melhoria dando origem as propostas que por sua vez foram implementadas através de um mapa futuro e testou-se sua eficiência através de simulação. Sendo assim, o objetivo geral como consequência foi atingido.

A pergunta de pesquisa foi respondida através de ganhos em termos das métricas *lean* e sendo possível através dos conceitos de desperdício, estabelecer maiores estimativas de ganhos quanto a fluidez de processo, ganhos operacionais e de faturamento, comprovando a eficiência da mentalidade enxuta e de sua ação em conjunto a simulação.

De uma forma geral, houveram dificuldades devido à resistência quanto a buscar uma visão enxuta do processo de produção de papel, uma vez que se trata de um processo contínuo. Em virtude disso foi preciso demonstrar as possibilidades de adaptação, foco sobre etapas específicas e conhecimento técnico dos ganhos que se esperava.

Não há dúvidas que no setor automobilístico onde a filosofia *lean* foi iniciada ela além de ser bem aceita traz continuamente resultados positivos, porém através de adaptações as particularidades de cada empresa essa filosofia pode sim, ser aplicável a indústria de celulose e papel como a outros setores como evidenciado.

A respeito da dificuldade encontrada e dos resultados apresentados, ressalta-se a importância deste trabalho, no sentido de quebrar o paradigma de que não é possível a obtenção de resultados relevantes através da mentalidade enxuta em processo contínuo e especificamente na indústria de celulose e papel.

Em conclusão, sabe-se que não existe uma única forma de aplicação do *lean manufacturing*, porém, a metodologia proposta se mostrou eficiente, atingindo os resultados esperados e servindo como base para estudos futuros.



## 7 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Este trabalho teve seu foco estipulado sobre apenas sobre a seção de formação, acabamento e expedição de papel, porém há outras formas de se avaliar o processo em questão podendo gerar novas oportunidades de melhorias sendo elas:

- Atuar com o início do mapa de fluxo de valor sobre os estoques de fibras em tanques, nivelando esses estoques conforme a necessidade, e como consequência buscando ganhos em redução de estoques entre processos nas etapas anteriores;
- Atuar sobre os estoques de coberturas do segmento cartão como um todo que apresenta elevadas quantidades como evidenciado na figura 26.
- Gerar Mapa completo com linhas as linhas das duas principais máquinas em paralelo e suas demandas somadas, e assim atuar com o real funcionamento do planejamento atual;
- Analisar a influência da troca de família de produtos para o lead time e tempo de agregação de valor;
- Buscar alternativas como as de supermercado de produto acabado no cliente para reduzir a zero o estoque de produto acabado;
- Gerar novos cenários considerando as condições ótimas de produção.

## REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J.; **Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study**. International Journal of production economics, v. 107, n. 1, p. 223-236, 2007.

ARUNAGIRI, P.; GNANAVELBABU, A.; **Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method**, Procedia Engineering, 2014.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BARTZ, A. P. B.; WEISE, A. D.; RUPPENTHAL, J. E. **Aplicação da manufatura enxuta em uma indústria de equipamentos agrícolas**. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, v. 21, n. 1, p. 147-158, 2013.

BORNIA, A. C.; **Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno**. Florianópolis: UFSC, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) PPGE/UFSC.

BRACELPA. (Ed.). **Panorama do Setor**. 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

CHIAVENATO, I. **Introdução a teoria geral da Administração**. 7 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 650p.

CHUNG, C. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. 574p.

CZARNECKI, H; LOYD, N.; **Simulation of Lean Assembly Line for High Volume Manufacturing Center for Automation and Robotics**, University of Alabama in Huntsville Huntsville, Alabama 35899, 2001.

DETTY, R. B.; YINGLING, J.C. **Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study**. International Journal of Production Research, v. 38, n. 2, p. 429-445, 2000.

DIEHL, A. A. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

DORES, A. M. B.; CHAGAS, F. B.; MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; **Panorama do setorial: setor florestal, celulose e papel**, BNDES Setorial. Rio de Janeiro, n. 28, p. 147-188, 2013.

FREITAS FILHO, P. **Introdução a modelagem e simulação de sistemas – com aplicações em arena**. Florianópolis: Visual Books 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2008. 176p.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: Mais do que simplesmente just-in-time**. Caxias do Sul: EDUCS, 1996.

GHINATO, P. **Elementos fundamentais do sistema Toyota de produção, Produção e competitividade: aplicações e inovações**. Recife: UFPE, p. 31-59, 2000.

GORENDER, J. **Globalização, tecnologia e relações de trabalho**; Estud. av.[online], vol.11, n.29, pp. 311-361. ISSN 1806-9592, 1997.

GRACA, L. **O caso da fábrica de automóveis da volvo em Uddevalla (Suécia); Parte I**, 2002.

HINES, Peter; TAYLOR, David. **Going lean**. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre Cardiff Business School, p. 3-43, 2000.

HUJALA, M.; ARMINEN, H.; HILL, R. C.; PUUMALAINEN, K.; **Explaining the Shifts of International Trade in Pulp and Paper Industry**. Forest Science, Vol. 59, Number 2 – Society of American Foresters, 2013.

JASTI, N.V.K.; SHARMA, A. **Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry**, International Journal of Lean Six Sigma, v. 5, n. 1, p. 89 – 116, 2014.

JOSTES, R.S.; HELMS, M.M. **Total productive maintenance and its link to total quality management, Work Study**, International Journal of Productivity and Performance Management, v. 43, n. 7, p. 18-20, 1994.

KELLNER, MARC I.; MADACHY, RAYMOND, J.; RAFFO, D. M. **Software process simulation modeling: Why? What? How?**. Journal of Systems and Software, v. 46, n. 2, p. 91-105, 1999.

LIKER, J.K. **O Modelo Toyota, 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Bookman, 2005.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. **Simulation in Manufacturing: Review and Challenges**, Procedia CIRP, v. 25, p. 213-229, 2014.

MUCHIRI, P. N.; PINTELON, L.; MARTIN, H.; MEYER, A. M. **Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries**, International Journal of Production Research, 2010.

NAKAGAWA, M.; **Gestão estratégica de custos: conceitos, sistemas e implementação**. São Paulo: Atlas, 1993.

NAZARENO, R. R., RENTES, A. F.; MENEGON, D.; **Relacionamento entre desperdícios e técnicas a serem adotadas em um Sistema de Produção Enxuta**; ENEGEP, Anais, 2003.

NAZARENO, R. R., RENTES, A. F.; SILVA, A. L. **Implantando técnicas e conceitos da produção enxuta integradas a definição de análise de custos** ENEGEP, Anais, 2001.

OHNO, T.; **O Sistema Toyota de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, A. D. **Análise das possíveis mudanças comerciais e estruturais do mercado internacional de celulose**. 1995. 131 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. **Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication**. *Scientometrics*, v. 1, p. 1-15, 2015.

PEINADO, J.; GLASER, D. A.; GRAEML, A. R. **Fatores influenciadores do sucesso da adoção da produção enxuta: uma análise da indústria de três países de economia emergente**. *Revista de Administração da Universidade de São Paulo*, v. 46, n. 4, p. 423-436, 2011.

PEREIRA, D. **A Espacialidade da Produção e do Trabalho Industrial: uma geografia da Ford Motor Company na escala do Brasil e do Mundo**, PUCSP, 2001.

RIBEIRO, H.; **5S: A base para a Qualidade Total**. Bahia: Casa da Qualidade, 1994.

RODRIGUES, M.; HATAKEYAMA, K. **Analysis of the fall of TPM in companies**. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 179, n. 1, p. 276-279, 2006.

ROLDAN, F.; MIYAKE, D.I.; **Mudanças de forecast na indústria automobilística: iniciativas para a estruturação dos processos de tomada de decisão e processamento da informação**, versão On-line ISSN 1806-9649 *Gest. Prod.* v.11 n.3 São Carlos, 2004.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Learning to see**. Lean Enterprise Institute, 1999.

SAURIN, T.A.; RIBEIRO, J.L.D.; MARODIN, G.A.; **Identificação de oportunidades de pesquisa a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta em empresas do Brasil e do exterior**, *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 829-841, 2010.

SHAH, R.; WARD, P.T. **Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance**. *Journal of Operations Management*, v. 21, p. 129-149, 2003.

SHINGO, S.; **Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system.** Productivity Press, 1986.

SHINGO, S.; **A Revolution in Manufacturing: The SMED System.** Productivity Press. Cambridge, MA, 1985.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SINGH, R.; GOHIL, A.; SHAH, D. B.; DESAI, S.; **“Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study”**, Procedia Engineering 51, pp.592 – 599, 2012.

SINGH, H.; SINGH, A. **Application of lean manufacturing using value stream mapping in an auto-parts manufacturing unit**", Journal of Advances in Management Research, v. 10, n. 1, p. 72 – 84, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management.** 2010.

SUGAI, M.; MCINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. **Shingo´s methodology (SMED): critical evaluation and case study.** Gestão & Produção, v. 14, n. 2, p. 323-335, 2007.

SUNDAR, R.; BALAJI, A.N.; KUMAR, R.M. **A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques.** Procedia Engineering, v. 97, p. 1875–1885, 2014.

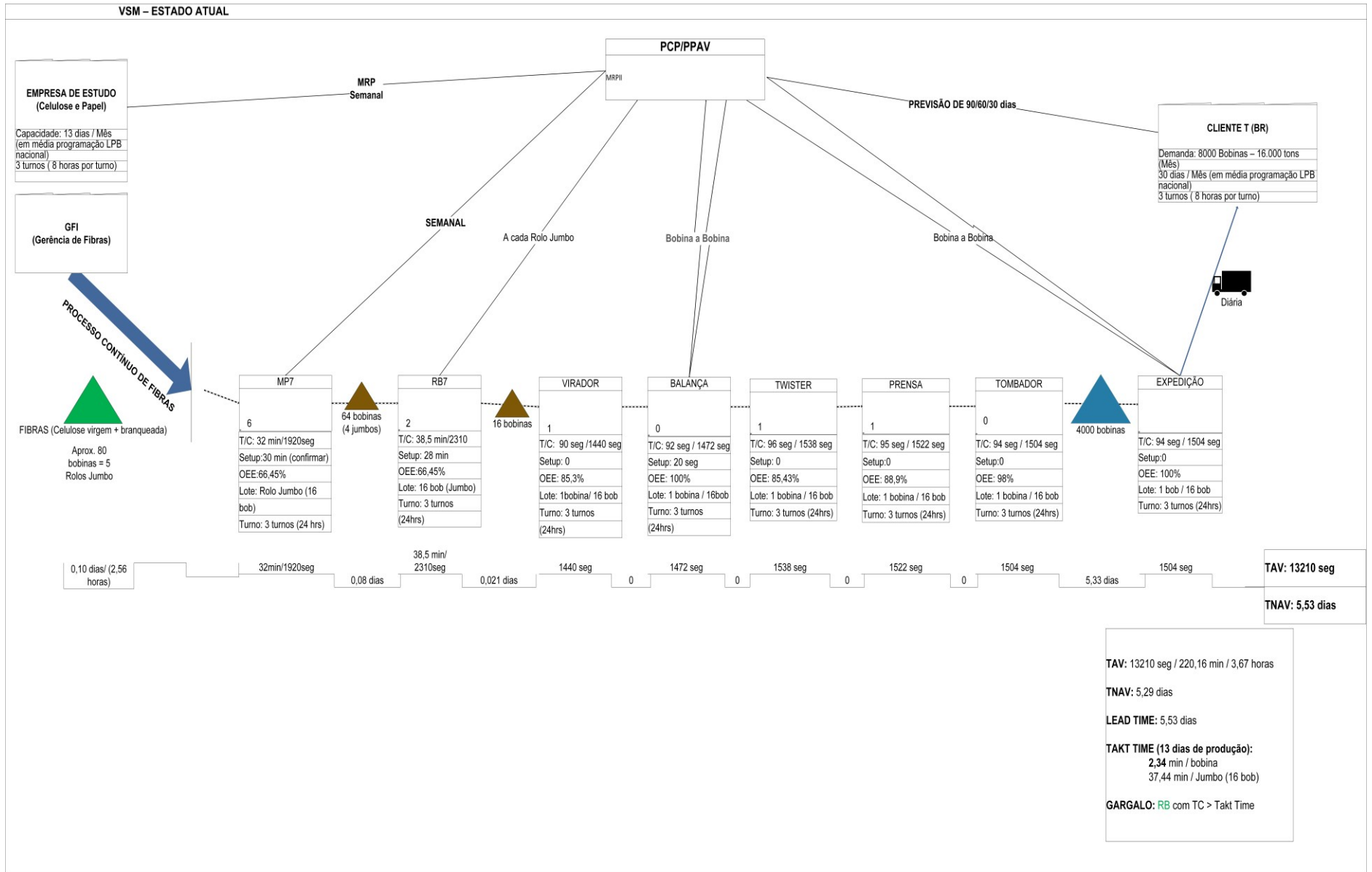
VERMA, A.K; ERANDE, A.; KULKARNI, T.; **Demonstrating impact of lean through value stream engineering simulation,** International Journal of Agile manufacturing, v. 11, n. 1, 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking – Banish waste and create wealth in your corporation.** New York. Simon & Schuster. 1996.

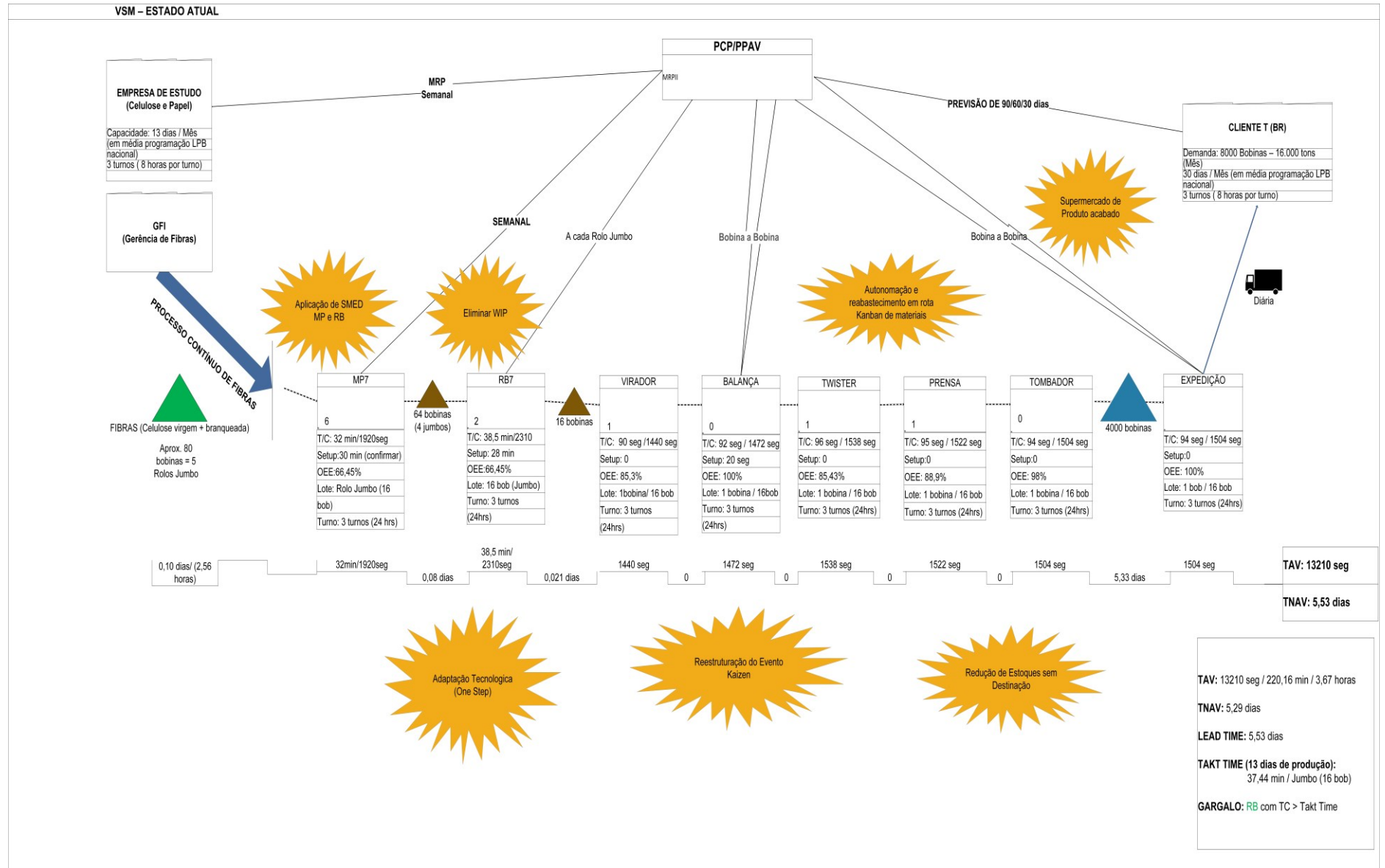
WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **The machine that changed the world.** New York. Rawson Associates. 1990.

XIA, W.; SUNJ; **Simulation guided value stream mapping and lean improvement: A case study of a tubular machining facility.** The Journal of Systems and Software, 2013.

# APÊNDICE A - MAPA DO ESTADO ATUAL



# APÊNDICE B – MAPA DO ESTADO ATUAL COM INDICAÇÃO DAS MELHORIAS (Explosões Kaize)



# APÊNDICE C – MAPA ESTADO FUTURO (IMPLEMENTAÇÃO DAS PROPOSTAS)

