

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ISADORA DE SOUZA CYRINO

**ADAPTAÇÃO DE MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COM
MÉTRICAS DE ENERGIA, MATERIAIS E CARBONO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

ISADORA DE SOUZA CYRINO

**ADAPTAÇÃO DE MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COM
MÉTRICAS DE ENERGIA, MATERIAIS E CARBONO**

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

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

PONTA GROSSA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ADAPTAÇÃO DE MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COM MÉTRICAS DE ENERGIA, MATERIAIS E CARBONO

por

ISADORA DE SOUZA CYRINO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às **15h00min de 30 de novembro de 2017** 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.

Cassiano Moro Piekarski
Prof. Orientador

Antonio Carlos de Francisco
Membro titular

Jovani Taveira de Souza
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

RESUMO

CYRINO, Isadora. **Adaptação de mapeamento de fluxo de valor com métricas de energia, materiais e carbono.** 2017. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

A cada dia que passa é possível encontrar evidencia do impacto ambiental causado pelo homem, como o aquecimento global, desmatamentos e desgaste do solo. Os princípios do Green Manufacturing são utilizados para minimizar tal impacto, focando principalmente em agir nos processos de manufatura para torná-los cada vez mais sustentáveis. Com isso, o trabalho teve como objetivo adaptar a ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) com o intuito de alcançar uma produção verde. Para isso foi usado como fonte de pesquisa exemplos práticos que mostrassem como foi feita a adaptação do MFV para uma produção verde. Os resultados dessa adaptação no presente trabalho, foram alcançados com a ajuda do software Umberto, que permitiu a medição da pegada de carbono em processos selecionados de uma montadora de caminhões. Com esses resultados foi possível identificar a origem da maior quantidade de CO₂ equivalente, resultando assim em um fator de decisões para a empresa.

PALAVRAS-CHAVE: *Lean Manufacturing. Green Manufacturing.* Produção sustentável. Mapeamento de Fluxo de Valor.

ABSTRACT

CYRINO, Isadora. Adaptation of value flow mapping with energy, materials and carbon metrics. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017. Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Every day that passes is possible to find evidence of environmental impacts caused by man, such as global warming, deforestation and soil depletion. The principles of green manufacturing are used to minimize such impacts, focusing mainly on acting in manufacturing processes to make them more sustainable. The aim of this work was to adapt the Value Stream Mapping Tool (VSM) in order to achieve a green production. For this purpose, practical examples were used to show how the adaptation of the VSM to a green production was made. The results of this adaptation in the present work were achieved with the help of the Umberto software, which allowed the measurement of the carbon footprint in selected processes of a truck assembler. With these results it was possible to identify the origin of the largest amount of CO₂ equivalent, thus resulting in a decision factor for the company.

KEYWORDS: *Lean Manufacturing. Green Manufacturing. Sustainable Production. Value Stream Mapping.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa Toyota	16
Figura 2 – Exemplo de troca rápida.....	20
Figura 3- -Fluxo de produção.....	21
Figura 4 – Etapas básicas do mapeamento.....	22
Figura 5 - Evolução da visão e das práticas do Green Manufacturing.....	23
Figura 6 - O papel da indústria de manufatura em um sistema sustentável	24
Figura 7 - Passos para preparar a empresa para a implementação do Green	27
Figura 8 – Evolução da relação entre os sistemas Lean e Green Manufacturing.....	31
Figura 9 – Hierarquia dos resíduos.....	32
Figura 10 – Exemplo de um MFV Ambiental aplicado	33
Figura 11 – MFV atual	42
Figura 12 – Direcionamento de peças e insumos em três estações de montagem.....	43
Figura 13 – Quantidade de material utilizado em cada estação	44
Figura 14 – Energia consumida durante as atividades	45
Figura 15 – Diagrama Sankey da pegada de carbono (CO2 equiv.) do processo analisado	46
Figura 16 – MFV com as novas métricas.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Desperdícios evitados pelo Lean	17
Quadro 2 – Métricas de desperdícios do Green	26
Quadro 3 – Principais ferramentas Lean relacionadas com o Green Manufacturing.....	34
Quadro 4 – Etapas da pesquisa	38
Quadro 5 – Processos realizados nas estações selecionadas	41

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
MFV	Mapa de Fluxo de valor
SMED	<i>Single Minute Exchange Die</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pegada de carbono do sistema analisado considerando energia elétrica e materiais de embalagem.....	46
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2.1	1.1. OBJETIVOS.....	11
2.1.1	1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	11
2.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	11
2.2	1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
2.3	2.1 LEAN MANUFACTURING	13
2.3.1	2.1.1 <i>História</i>	13
2.3.2	2.1.2 <i>Conceito</i>	14
2.1.3	<i>Ferramentas do Lean Manufacturing</i>	18
	2.1.3.1 Just in time:.....	18
	2.1.3.2 Kanban:	19
	2.1.3.3 5 S:	19
	2.1.3.4 Single minute Exchange die (SMED) – Troca rápida de ferramenta:	20
	2.1.3.5 Mapa de fluxo de valor:.....	20
2.2	GREEN MANUFACTURING.....	22
2.2.1	<i>Desenvolvimento e aplicação</i>	25
2.3	PANORAMA LEAN E GREEN MANUFACTURING	28
2.3.1	<i>Relações</i>	28
2.3.2	<i>Estado da arte sobre Lean e Green Manufacturing</i>	29
2.3.3	<i>Ferramentas Lean associadas ao Green Manufacturing</i>	32
2.4	SOFTWARE UMBERTO E A PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	36
3.2	3.2. O CASE ANALISADO	37
3.3	3.3. ETAPAS PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

É cada vez mais comum que as empresas incluam entre seus objetivos a transformação de seu processo produtivo, que antes tinha um caráter exclusivamente exploratório. Tais práticas aumentam potencialmente a escassez de recursos e a degradação do meio ambiente, por isso a necessidade de um processo mais sustentável e que gere cada vez menos desperdício.

Uma filosofia bastante comum entre as indústrias que buscam cortar desperdícios, principalmente aqueles ligados aos custos de produção, é a filosofia *Lean* ou produção enxuta. Esse tema tem sido abordado como *Lean thinking* (WOMACK; JONES, 1998), onde, sem alterar o layout original do processo, se consegue alcançar uma maior eficiência em qualidade, segurança, transporte e custos.

Contudo, para se alcançar uma manufatura sustentável, é necessário se ter uma visão sistêmica, que abrange não apenas o produto e os processos envolvidos em sua fabricação, mas também o sistema e toda a cadeia de produção. Também é preciso dar mais atenção no ciclo de vida total do produto, que implica em questões econômicas, sociais e ambientais, *Triple Bottom Line* (TBL), ou Tripé da Sustentabilidade (ELKINGTON, 1998).

Um dos fatores que caracterizam uma produção sustentável é a *Green Manufacturing*. Esse tipo de manufatura assegura a sustentabilidade na extração de recursos, nos processos em que o produto é submetido, no seu uso e descarte. No ramo industrial e também no acadêmico, o termo sustentabilidade tem sido amplamente utilizado para expor preocupação com questões ambientais (NIDUMOLU et al., 2009).

É possível notar que, enquanto o *Lean* se preocupa em minimizar desperdícios como transporte, retrabalho, tempo, entre outros, o *Green* tenta reduzir os desperdícios que são caracterizados como sendo uso desnecessário ou excessivo de recursos ou liberação de substâncias na água, ar ou em lugares que poderiam ser prejudiciais à saúde humana ou ao próprio ambiente (MOREIRA et al., 2010).

Dessa maneira, como ambos os pensamentos visam reduzir desperdícios, uma possível ligação entre eles foi discutida por vários autores (MARTIN KURDVE et al., 2014) (JOHANSSON; SUNDIN, 2014) (FAULKNER; BADURDEEN, 2014). Düeset al. (2013) reforçou a ideia de que ações do pensamento *Lean* podem ser usadas para impulsionar as

práticas do *Green*. Os autores sugeriram que a ligação entre esses pensamentos atingia também ferramentas e práticas operacionais, relação entre a cadeia de suprimentos, redução do *lead-time*, e finalmente a redução de resíduos e desperdícios.

No entanto, nenhum desses autores buscou entender o potencial de adaptação dos sistemas de manufatura, como o *Lean*, ou de suas ferramentas para estabelecer um novo modelo para a prevenção da poluição e da geração de resíduos.

Com base neste cenário, o presente trabalho se propõe a responder a seguinte pergunta de partida: quais adaptações no Mapeamento de Fluxo de Valor poderiam ser realizadas para alcançar uma produção verde?

A pergunta de partida desse estudo auxiliará no encontro da melhor maneira de utilizar princípios já instalados na cultura da organização para provar que ferramentas *Lean*, assim como seus fundamentos, podem ajudar qualquer empresa a se tornar bem-sucedida, econômica, social e ambientalmente.

2.1 1.1. OBJETIVOS

2.1.1 1.1.1 Objetivo Geral

Definiu-se como objetivo geral deste trabalho:

Adaptar a ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) com métricas produtivas.

2.1.2 Objetivos Específicos

Buscando alcançar o principal objetivo dessa pesquisa, foram estabelecidos alguns objetivos específicos que guiaram a mesma:

- Elaborar mapa de fluxo de valor atual de um processo produtivo em uma empresa multinacional de montagem automobilística;
- Identificar e medir as principais intervenções ambientais do processo;
- Analisar os dados recolhidos;
- Utilizar as métricas de energia, materiais e carbono no MFV;
- Criar novo mapa e propor sugestões de melhorias.

2.2 1.2 JUSTIFICATIVA

Com base no desempenho das organizações em relação ao meio ambiente, surgiram novas necessidades que teriam que ser atendidas por um novo processo de manufatura, um processo mais sustentável.

Um dos motivos para se atender essa nova necessidade é pelo fato de que as empresas já apresentam um fator que é visto como catalisador do pensamento *Green*, que seria a produção enxuta, o pensamento *Lean*. Ele apresenta ferramentas que podem ser adaptadas com a intenção de reduzir outros tipos de desperdícios, como o uso desenfreado de insumos de entrada, energia, emissões de poluentes, entre outros (KING e LENOX, 2001).

Esta pesquisa busca encontrar maneiras de utilizar ferramentas já implementadas na organização escolhida afim de otimizar o desempenho geral do processo produtivo, minimizando os impactos ambientais e reduzindo custos. Biggs (2009) ressalta que é a cultura da eliminação de desperdícios, de resolver problemas e aprimorar as melhores práticas encorajadas pelo *Lean* que pode ajudar a companhia a realizar melhoras ambientais em seus processos.

As soluções almejadas pelas empresas sempre priorizam a redução do custo, por isso Gordon (2001), discute alguns meios de integrar as práticas *Lean* e *Green* focando em ações que visam reduzir os custos de operação. É nesse pensamento que os futuros profissionais da engenharia de produção devem focar: utilizar técnicas e ferramentas já existentes na fábrica, pois, uma vez adaptadas e implementadas, os resultados de se ter uma organização sustentável serão melhores, a produtividade e o mercado alcançado pela empresa serão maiores.

Além disso, é possível visualizar que mesmo quando falamos de uma produção sustentável, a solução principal não se encontra na produção em si, o que geralmente é senso comum quando pensamos nos maiores desperdícios e impactos. O trabalho mostra que a empresa precisa pensar como um todo para conseguir encontrar soluções viáveis, é preciso incluir todos os setores nesse desafio, pois só assim a solução pode ser eficaz.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo compreende o referencial teórico do trabalho. Foram abordados os seguintes tópicos: *Lean Manufacturing*, *Green Manufacturing*, Panorama do *Lean* e *Green Manufacturing*.

2.3 2.1 LEAN MANUFACTURING

2.3.1 2.1.1 História

Ao contrário do que se pensa, o *Lean Manufacturing* surgiu antes mesmo do período pós-guerra, no Japão, dentro da empresa *Toyoda Motor CO*, antes mesmo da criação da mesma, em 1937. É possível afirmar que ele surgiu no momento em que Sakichi Toyoda iniciou seus estudos sobre a automatização de teares manuais no início do século, quando foi fundada a *Toyoda Automatic Loom Works* (GHINATO, 2000).

Em 1924, o fundador da *Toyoda Automatic Loom Works* criou o primeiro tear automatizado, que tinha como principal característica inovadora o fato de que tal máquina parava de trabalhar caso um fio arrebetasse (SHINGO, 1996).

De acordo com o mesmo autor, o filho de Sakichi realizou, depois de um tempo, uma viagem aos Estados Unidos, e ficou empolgado, tanto com os automóveis quanto com o crescimento da indústria do país naquela época. Graças a isso, quando ele voltou ao Japão, resolveu iniciar, dentro da fábrica do pai, em 1933, uma linha de fabricação de automóveis. Assim nascia a *Toyota Motor Co.*

Depois do término da Segunda Guerra, a economia do Japão se encontrava em um estado crítico, por essa razão foi adotada pela *Toyota* uma estratégia que buscava diminuir ou até mesmo eliminar qualquer tipo de desperdício, que mais adiante seriam divididos em sete categorias.

Em 1943, outro membro da família Toyoda, Eiji, convida o engenheiro Taiichi Ohno para ajudar no projeto da nova fábrica. Ohno então da origem ao que nomeou de “os 7 desperdícios”: superprodução, estoque em excesso, espera, defeito, movimentação,

transporte e super processamento. Esse novo conceito se tornou a base do Sistema Toyota de Produção (GHIANATTO, 1996).

Esse novo sistema começou a ganhar destaque nos anos 60 e 70, e todo esse sucesso alcançou os Estados Unidos. Ele começou a ser introduzido no final dos anos 70, por empresários e consultores de produtividade. Uma vez concretizado o nome “Sistema Toyota de Produção”, deu-se início a procura por um nome mais aceitável para seu conceito. Um consultor de produtividade chamado James Womack escreveu um livro, em 1990, que se tornou muito popular chamado “A máquina que mudou o mundo”, e nesse livro o autor usou o termo *Lean Manufacturing*, que acabou se tornando aceito por todos (BERGMILLER, 2006).

2.3.2 2.1.2 Conceito

Uma maneira de conceituar o pensamento *Lean*, de acordo com Bicheno (2000), é dizendo que ele “produz exatamente o que o cliente quer, exatamente quando (com nenhum atraso), pelo preço justo e mínimo desperdício”.

Foi provado que tal pensamento consegue aumentar a níveis elevados a eficiência em muitas em indústrias pelo mundo (MOREIRA et al., 2010). Durante décadas, segundo Gordon (2001), a manufatura enxuta tem sido vista como sendo a maneira mais indicada de conduzir uma empresa de manufatura.

Assim sendo, a manufatura enxuta foca na otimização dos recursos utilizados na produção (pessoas, tempo, espaço, etc.), por isso ser algo relevante para o cliente.

Segundo Womack e Jones (1998), os cinco princípios essenciais do pensamento *Lean* são:

Valor: permitir que o cliente defina o que é valor em termos de produto final, ou seja, aquilo pelo qual ele está disposto a pagar e os desperdícios, que ele não está disposto a pagar e que devem ser eliminados.

Fluxo de valor: identificar todo o fluxo de valor para cada família de produto. As etapas que não agregarem valor devem ser eliminadas.

Fluxo contínuo: essa é uma das etapas mais difíceis de praticar com plenitude, pois aqui é necessário que seja criado um fluxo contínuo de produção, buscando atender as necessidades dos clientes com rapidez.

Produção puxada: permitir que a produção seja puxada pelo cliente, produzindo dessa maneira apenas o que o mesmo deseja. Quando se implementa esse tipo de produção, se torna possível eliminar estoques.

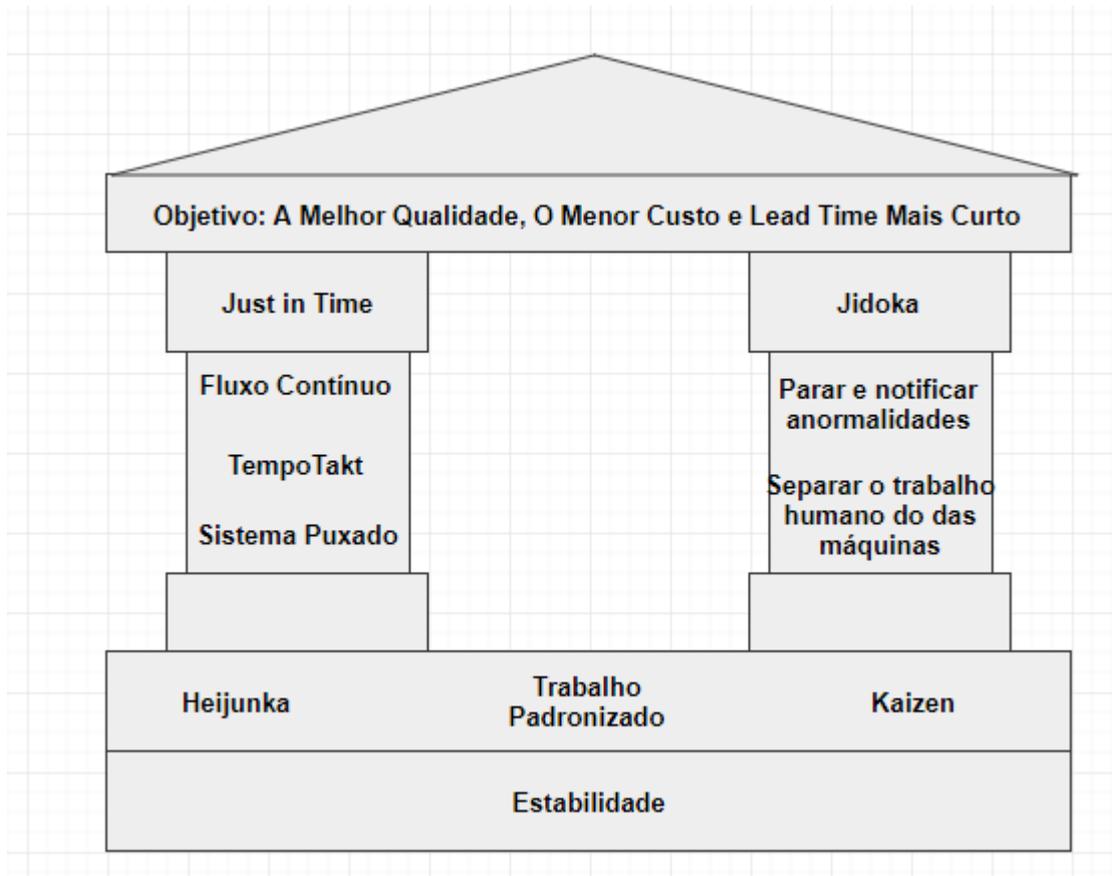
Perfeição: se dá pela busca contínua da melhoria dos processos, produtos, pessoas, etc.

Entretanto, é importante ressaltar que todos esses princípios precisam se manter atualizados, pois o que é definido como valor hoje, amanhã pode mudar. Por essa razão, Womack e Jones (1998), ressaltam que o principal pilar do pensamento enxuto é o *Kaizen*, uma filosofia guiada por dois objetivos (BERGER, 1997):

1. Desenvolver uma cultura de resolução de problemas, com foco em analisar e resolver problemas com um pensamento científico e estruturado;
2. Envolvimento das pessoas.

A melhor representação para os princípios do *Lean* é ilustrada abaixo, nela tem-se o telhado, que representa as metas do pensamento, que seriam alcançar uma melhor qualidade, menores custos e menor *lead time* (LIKER, 2006). Depois tem-se as colunas de sustentação, que para Ohno (1988), se conceituam da seguinte maneira, como ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Casa Toyota



Fonte: Marchwinski e Shook (2006)

- *Just-in-Time* (JIT), diz que em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. Uma empresa que estabelece este fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero.
- Automação (JIDOKA), onde máquinas automatizadas, com toque humano ou não, ou seja, com dispositivo de parada automática quando ocorrem problemas.

Por fim, dando estabilidade ao pensamento temos o *Heijunka*, que nivela o tipo e a quantidade produzida em um período de tempo fixo. Esse princípio permite que a produção consiga atender com eficiência a demanda do cliente, evitando assim lotes grandes, além de minimizar estoque, custos, mão de obra e o próprio *lead time*. Junto ao *Heijunka* temos o *Kaizen*, que seria a melhoria contínua de um processo inteiro ou de um processo individual, com o intuito de criar mais valor com menos desperdícios.

No centro da base, temos o trabalho padronizado, que estabelece precisamente o que cada operador realizará no processo de produção. Essa padronização é baseada em três elementos:

- *Takt time*, onde a velocidade do processo produtivo acompanha a demanda do cliente;
- Sequência precisa de trabalho, desenvolve sua tarefa de acordo com o *takt time*;
- O inventário padrão, que inclui as unidades de máquinas necessárias para manter o processo sem que haja problemas.

De acordo com Liker (2006), todos os elementos do sistema reforçam uns aos outros.

Agora, quando olhamos para a produção do ponto de vista econômico, encontramos alguns desperdícios nos processos de manufatura que precisam ser eliminados (OHNO, 1988). Dentro do Sistema Toyota de Produção (STP), Shingo (1981), listou, como no Quadro 1, os sete principais desperdícios:

Quadro 1 – Desperdícios evitados pelo Lean

Espera	Pessoas à espera de peças de uma operação anterior
Defeitos	Os produtos que não atendem às especificações de qualidade precisam de tempo para reformulação e/ou descarte de peças defeituosas
Superprodução	Considerada o mais perigoso, pois esconde os outros desperdícios. Pode ser dividido em produzir itens demais ou produzir antecipadamente.
Transporte	Transporte desnecessário ou mais longo do que necessário de peças ou produtos
Estoque	Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos
Movimentação	Movimentações desnecessárias ou mais longas que as necessárias – de pessoas ou máquinas
Processamento extra	Usar o tempo ou outros recursos em etapas do processamento que não agregam valor ao produto

Fonte: Ohno (1988)

Entender os conceitos que compõe o pensamento *Lean* é muito importante para a aplicação e funcionamento de suas ferramentas e como elas podem tanto em eliminar os desperdícios listados acima, como em ajudar a desenvolver uma organização mais sustentável.

2.1.3 Ferramentas do *Lean Manufacturing*

O pensamento enxuto tem como meta principal eliminar atividades que não agregam valor ou produto e estimular ações que adicionem valor a funcionar num fluxo contínuo, sempre puxado pelo cliente. Ele conta com a ajuda de diversas ferramentas para atingir essa meta. “A eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos; a ideia básica é produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade necessária (OHNO, 1997)”.

Algumas das principais ferramentas utilizadas para auxiliar as empresas na eliminação dos desperdícios foram apresentadas a seguir.

2.1.3.1 Just in time:

Visa a eliminação total de todos os resíduos para alcançar a melhor qualidade possível, o menor custo possível e o melhor uso dos recursos, além de menos estoques e de realizar a entrega no melhor prazo possível. Embora pareça um princípio simples, o JIT exige uma disciplina para uma implementação eficaz (MARCHWINSKI; SHOOK, 2006).

O objetivo do JIT é identificar, localizar e eliminar os desperdícios relacionados a atividades que não agreguem valor, reduzir estoques, garantindo um fluxo de valor contínuo de produção (OHNO, 1988).

Para Corrêa e Gianesi (1993), problemas de qualidade, de quebra de máquinas e de preparação das mesmas são camuflados pelo estoque, por isso a importância de reduzi-los através do *Just in Time*, para que eles possam ficar mais evidentes e possam ser eliminados.

2.1.3.2 Kanban:

O Kanban é um dispositivo de sinalização que dá autorização e instruções para a produção ou a retirada (transporte) de itens em um sistema de produção puxado. O objetivo dessa ferramenta é minimizar os estoques do material em processo, produzindo pequenos lotes, ou seja, somente o necessário, com qualidade, produtividade e no tempo certo (SHINGO, 1991).

Os cartões de *Kanban* são o exemplo mais conhecido e mais comum destes dispositivos. Eles muitas vezes são pedaços de cartolinas, às vezes protegidos em envelopes, afirmando alguma informação tais como, nome da peça, número da mesma, fornecedor externo ou interno, quantidade a ser enviada, endereço de armazenamento, entre outras. Um código de barra pode ser impresso nesse cartão para rastreamento.

Seja qual for a forma, o *Kanban* tem duas funções em uma manufatura: instruir o processo de produção do produto e instruir as pessoas a mover os produtos. Conforme a linha de montagem vai utilizando as peças de um cartão e este é esvaziado, ele automaticamente autoriza que um processo antecedente comece a fabricação de um novo lote (HUANG; KUSIAK, 1996).

2.1.3.3 5 S:

A sigla 5S vem de 5 termos relacionados cujos nomes, em japonês, começam com a letra S. No Brasil, eles foram traduzidos como:

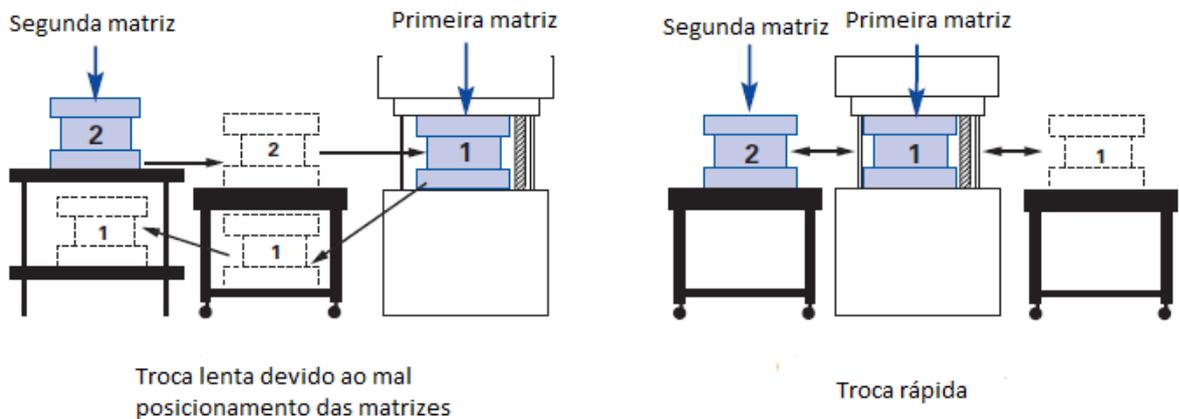
- *Seiri* (Senso da Utilização): consiste em decidir o que é necessário e eliminar o que não é necessário;
- *Seiton* (Senso de Ordenação): tudo dever ter local definido e claramente indicado e localização visível de documentos úteis, ou seja, cada coisa em seu lugar;
- *Seiso* (Senso da Limpeza): consiste em eliminar o lixo e a sujeira, fazer uma faxina geral, tornar problemas fáceis de serem localizados;
- *Seiketsu* (Senso da Padronização): conhecer, orientar e utilizar componentes padrões e regras existentes, desenvolver formas de monitorar os três primeiros S;

- *Shitsuke* (Senso da Autodisciplina): disciplinar a prática dos S anteriores, mantendo todas as melhorias feitas.

2.1.3.4 Single minute exchange die (SMED) – Troca rápida de ferramenta:

Idealizada por Shigeo Shingo, a troca rápida de ferramenta é ilustrada na Figura 2:

Figura 2 – Exemplo de troca rápida



Fonte: Marchwinski e Shook (2006)

Essa ferramenta como objetivo a redução do tempo de set up através das seguintes ações: separar as operações de setup interno, que poderiam ser feitas somente quando a máquina estivesse parada (tal como a troca de matriz), de operações que poderiam ser executadas enquanto as máquinas estivessem funcionando, como o transporte da uma nova matriz para a máquina; e, em seguida, converter a configuração de setups de interna para externas (SHINGO, 1985).

2.1.3.5 Mapa de fluxo de valor:

Segundo Rother e Shook (2003), a ferramenta da Figura 3 auxilia na compreensão da agregação de valor, pois é capaz de representar visivelmente todas as etapas envolvidas nos fluxos de informação e material durante todo o fluxo de valor do mesmo, desde o fornecedor até o consumidor.

Figura 3- -Fluxo de produção



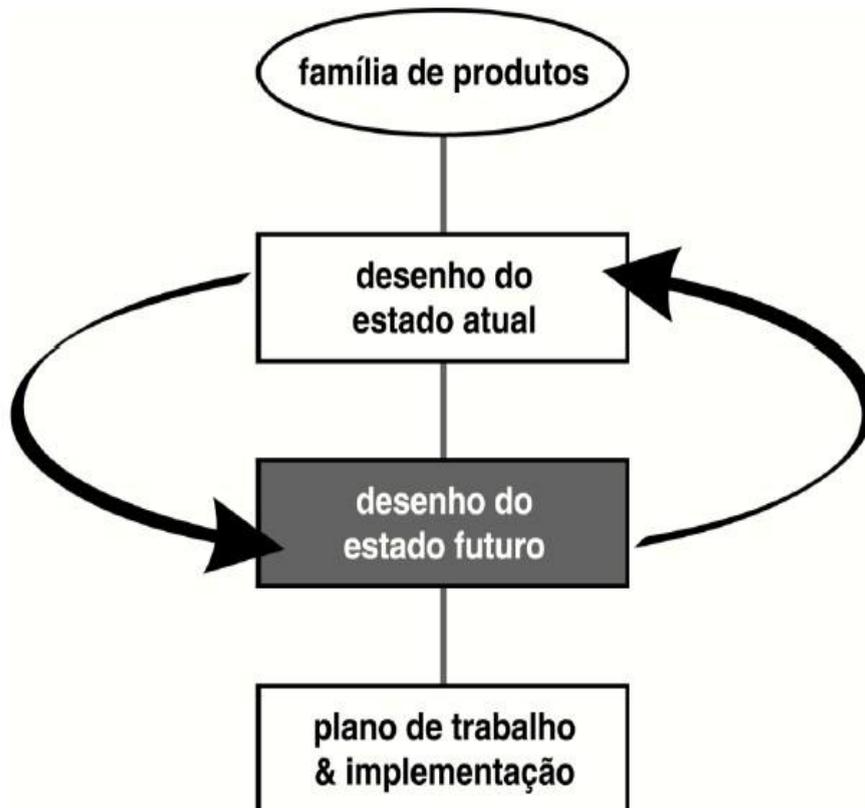
Fonte: Rother e Shook, 2003

De acordo com os mesmos autores, o mapeamento do fluxo de valor tem inicialmente a função de identificar o tempo de processo em cada célula de manufatura, o espaço percorrido por ela, as dificuldades de fabricação e os desperdícios de tempo e material. Cabe observar que a análise destes aspectos deve ser feita de forma mais fiel possível com a realidade, para que seja apresentada a verdadeira situação.

Para Oliveira (2005), a melhor maneira de se construir um mapa de fluxo de valor é seguir determinado componente ou conjunto, família de peças, desde a entrada de matéria-prima na fábrica até sua saída, na expedição. Buscando identificar de forma categórica todas as variáveis que poderão incrementar custo ao produto, a análise feita deverá ser imparcial.

Em alguns casos, pode ser apropriado desenhar um mapa de um estado ideal do fluxo de valor, mostrando as oportunidades de melhoria, empregando todas as ferramentas *Lean* conhecidas. A Figura 4 mostra as etapas do mapeamento.

Figura 4 – Etapas básicas do mapeamento



Fonte: Rother e Shook, 2003

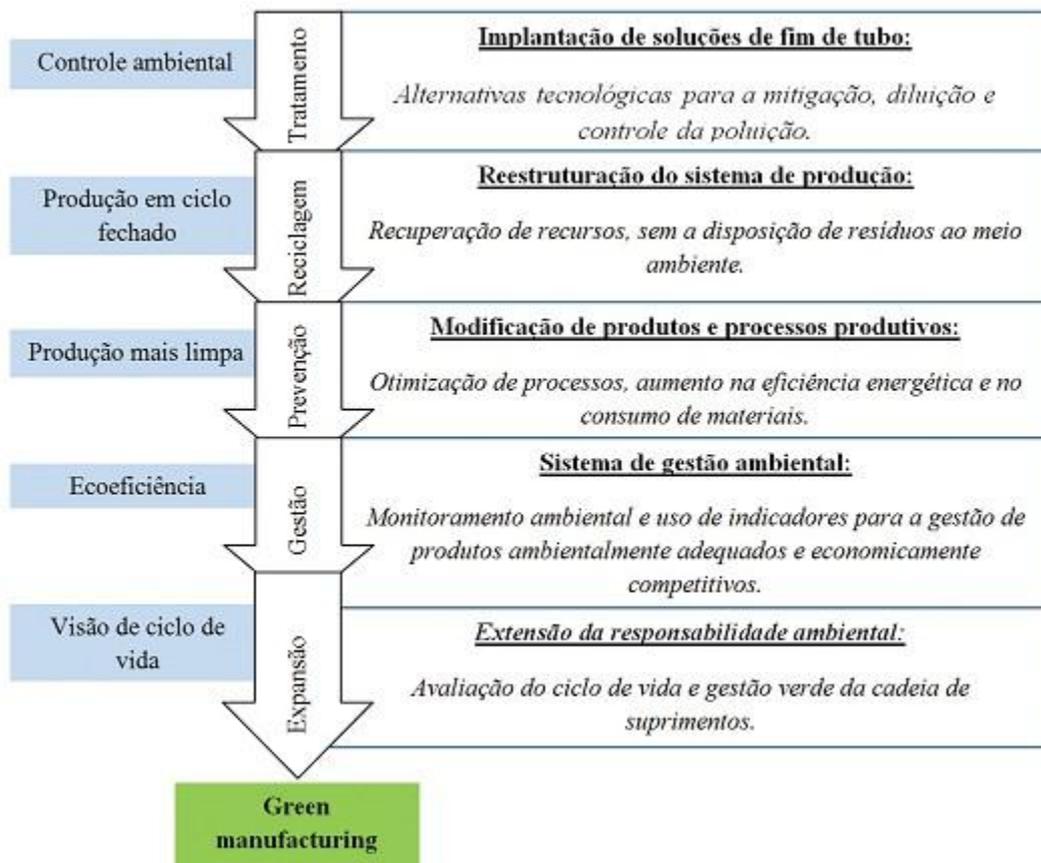
Sendo assim, após a aplicação do novo mapa de fluxo de valor, seguido de um determinado período de tempo, o mapa que hoje seria considerado como “mapa do futuro” será o “mapa atual”. O objetivo de se mapear o estado futuro, segundo Rother e Shook (2003), é destacar as fontes de desperdícios e eliminá-las através da implementação de um fluxo de valor em um “estado futuro” que pode tornar-se uma realidade em um curto período de tempo. Por isso existe a necessidade de, constantemente, de novas melhorias e adequações no processo, para se chegar cada vez mais próximo de uma linha de produção enxuta, que torne possível a redução do custo e que garanta um produto de qualidade.

Todas as ferramentas aqui descritas buscam ajudar a organização a atender as necessidades dos clientes, pois através delas é possível diminuir o custo de produção e aumentar a qualidade do serviço ou produto oferecido. É importante também lembrar que foram escolhidas as mais comumente usadas para fazerem parte desta pesquisa.

2.2 GREEN MANUFACTURING

Ao longo do tempo, o termo *green manufacturing* tem sido visto de maneiras diferentes; a Figura 5 a seguir mostra que o conceito do *green manufacturing* tem evoluído, acompanhando o nascimento de novas prática de gestão ambiental (SILVA et al., 2015).

Figura 5 - Evolução da visão e das práticas do Green Manufacturing



Fonte: SILVA et al., (2013)

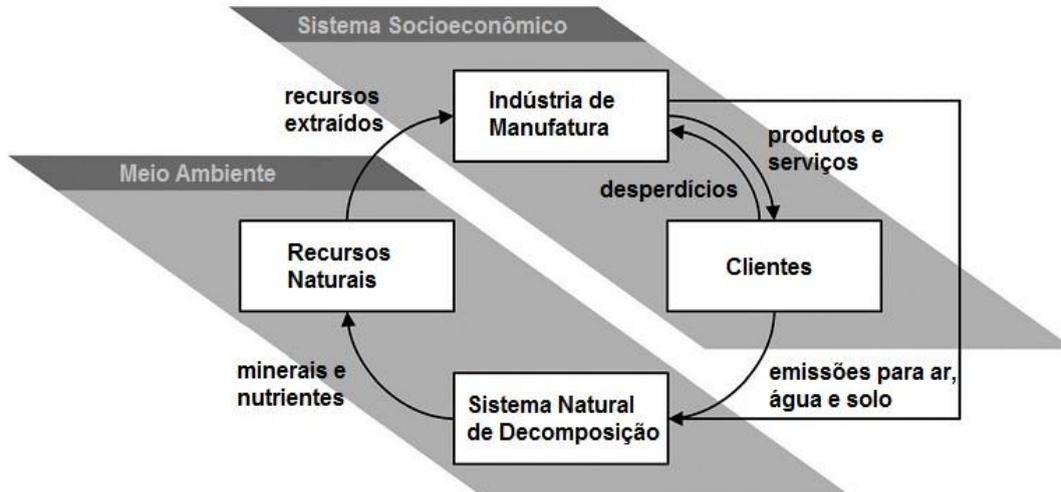
Como a Figura 5 nos mostra, no começo as práticas do *Green Manufacturing* focavam apenas em soluções do tipo “fim-de-tubo”, apenas no tratamento do resíduo gerado. Depois o foco muda e vai para uma produção em ciclo fechado, dando ênfase à reciclagem do que foi gerado dentro da empresa; segue para a produção mais limpa (P+L), que tenta prevenir a geração de refugos durante os processos. Tem-se então na eco eficiência industrial, que tem como objetivo a construção de um sistema de gestão

ambiental, buscando soluções integradas, e por fim, a prática da expansão da responsabilidade ambiental, chamando atenção para a visão de ciclo de vida do produto (SILVA et al., 2013).

Uma vez explicado o termo, é importante agora saber como ele surgiu. Rao e Shrivastava (1995) definem práticas verdes como sendo um conjunto de técnicas que limitam ou reduzem possíveis impactos negativos da produção sob o meio ambiente e consumo de produtos ou serviços usados na manufatura, melhorando assim a estratégia ambiental da empresa.

O termo *sustainable manufacturing* foi apresentado por Jelinski et al. (1992), porém ele só abordava o lado ambiental do termo sustentabilidade. Já nos dias de hoje, conceito de manufatura sustentável pode ser definido como sendo a manufatura de produtos que visa minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente, conservar energia, recursos naturais e segurança de todos os *stakeholders*, alterando os materiais e processos já empregados nas organizações (INTERNATIONAL TRADE ADMINISTRATION, 2010).

Figura 6 - O papel da indústria de manufatura em um sistema sustentável



Fonte: Adaptado de Dornfeld et al. (2013)

Para Dornfeld et al. (2012), a sustentabilidade só pode ser discutida no contexto de um sistema fechado, como o mostrado na Figura 6.

Para os autores, sistemas de manufatura coexistem com os sistemas humano, ecológico e natural. Portanto, a manufatura sustentável não pode ser considerada independente de sistemas mais abrangentes como o ambiental e o socioeconômico.

Porém, mesmo envolvendo os âmbitos social, econômico e ambiental, o termo *sustainable manufacturing* está mais relacionado com o último, por isso autores como Bergmiller (2006) e Dornfeld (2012) tem usado mais o nome *green manufacturing*.

2.2.1 Desenvolvimento e aplicação

Para Bergmiller (2006), um dos componentes essenciais de uma sociedade sustentável é o *Green Manufacturing*, que se caracteriza por ser uma manufatura que garante a sustentabilidade na extração de recursos, no processamento do material e no uso e descarte do produto.

Segundo alguns autores (SILVA et al., 2013), a *Green Manufacturing* é atingida através de práticas de produção mais limpa pois ela se concentra sobre o processo produtivo e permite uma maior eficiência no uso dos recursos naturais e a minimização na geração de resíduos, tornando possível uma melhor eco eficiência industrial.

Wang e Lin (2007) propuseram um quadro amplo referente ao *Triple Bottom Line* para monitorar e classificar informações sobre sustentabilidade no nível corporativo através de um índice de sustentabilidade. O quadro incorpora o setor ambiental, custos sociais e os valores de atividades econômicas para apoiar as decisões dos gestores. Essa metodologia foi sugerida para ajudar a gerência para realizar uma manufatura *Green*.

A *Green Manufacturing* pode resultar em menores custos com matéria prima (reciclagem de materiais descartados, ao invés da compra de novo material), ganhos em eficiência da produção (menor consumo de energia e de água), redução de despesas com saúde e segurança ambiental (menores custos com regulamentação e passivos produzidos), e uma melhora na imagem da organização (diminuindo os impactos ambientais percebidos pelos clientes) (PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

Existem várias medidas de resíduos ambientais utilizadas pelos fabricantes atualmente. O Quadro 2 a seguir fornece um conjunto de métricas ambientais usadas na manufatura para avaliar e reduzir o impacto ambiental da produção.

Quadro 2 – Métricas de desperdícios do Green

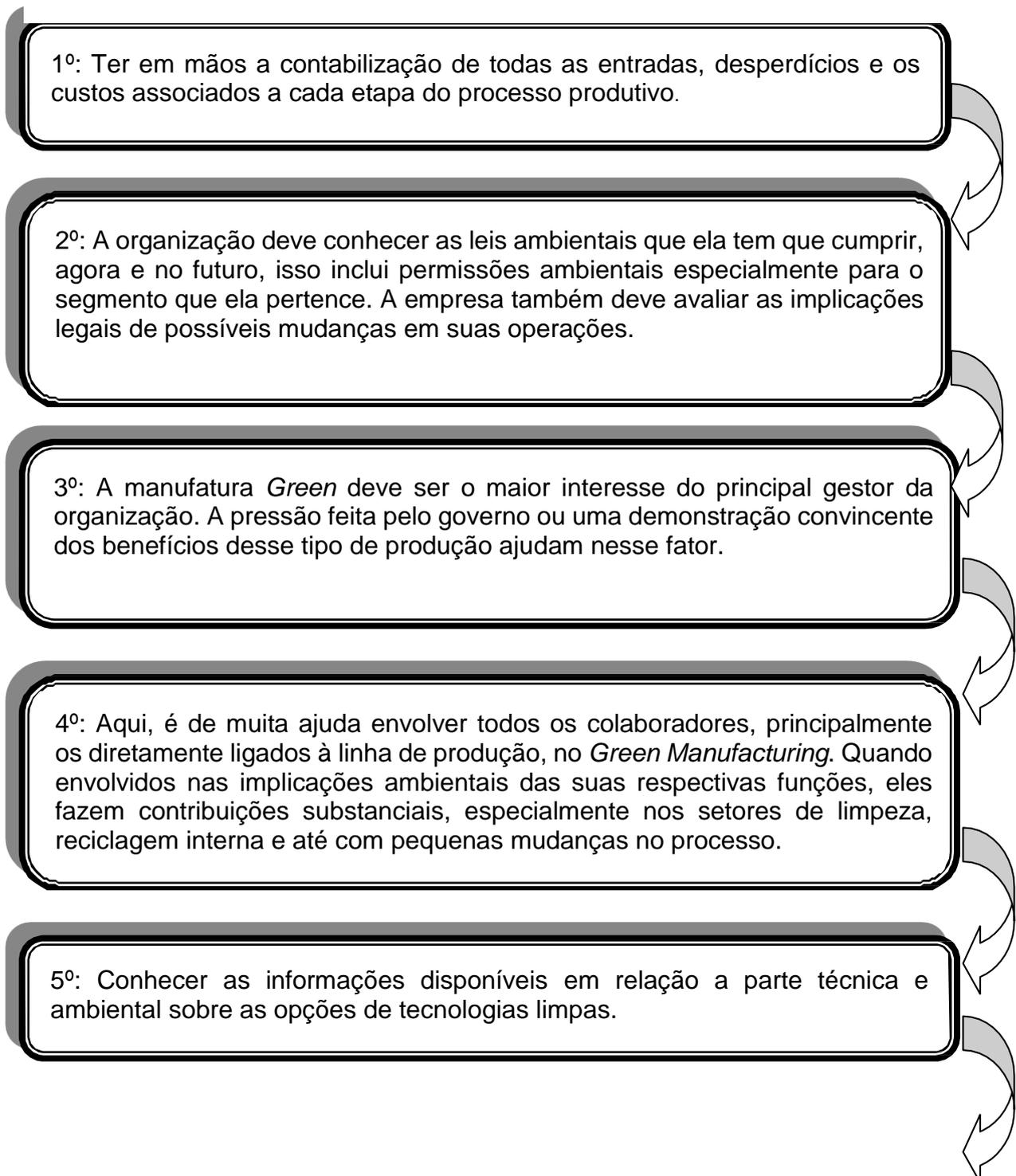
Métrica	O que é medido	Vantagens	Desvantagens
Atestado de Conformidade	Conformidade com licenças aplicáveis expressas como excedendo os limites de licenciamento.	Um elemento essencial para aqueles clientes que vão olhar primeiro para o cumprimento das leis.	Expedidos isoladamente, podem indicar que a empresa faz somente o que é necessário.
Resíduos por unidade de produção	Porcentagem de perda de produção (desperdício); geralmente medido por peso.	Uma medida amplamente aplicável que incorpora a eficiência na utilização de recursos.	Sem prioridade estabelecida em termos de tipo de resíduo; outras medidas ausentes criam um incentivo para se concentrar resíduos em alto volume, como resíduos de baixa toxicidade.
Uso de energia	Uso total de energia para todos os aspectos das operações empresariais; pode também ser expressa como dióxido de carbono.	Uma medida abrangente que foca na eficiência no uso dos recursos-chave; antecipa eventuais preocupações do aquecimento global; é prontamente comunicada ao cliente.	A eficiência energética é importante, mas não é a única base sobre a qual se avalia o desempenho ambiental; outras medidas também são necessárias.
Geração de resíduos sólidos	Total de resíduos sólidos destinados a aterros ou outras destinações de disposição.	Uma medida importante aos olhos do público por causa da publicidade em torno da escassez da capacidade dos aterros sanitários; muitas vezes reflete a eficiência na utilização dos recursos.	Uma medida muito limitada de desempenho ambiental; muitas vezes mal interpretadas como o critérios mais importantes para um bom desempenho ambiental.
Ciclo de vida do produto	Impacto total de um produto sobre o meio ambiente a partir da entrada de matéria-prima para a produção, e também sua eliminação final.	A medida mais abrangente em relação ao nível de impacto do produto; um motivo notável para lutar pela eficiência na utilização de recursos para prevenir a poluição.	Extremamente complexo de implementar, as medidas não são comumente aceitas; reivindicações baseadas na análise do ciclo de vida do produto são frequentemente tratadas com ceticismo; difícil de aplicar em nível corporativo.

Fonte: Adaptado de Bergmiller, (2006)

De acordo com Dillon e Fischer (1992), antes de usar novas tecnologias, ou até mesmo tecnologias modificadas para implementar o *Green*, é necessário organizar as operações que fazem parte do processo produtivo, gerenciar as funções que fazem parte dele e as pessoas envolvidas para facilitar a identificação e o desenvolvimento de ideias para minimizar o desperdício, tanto da parte técnica como das pessoas.

Os passos são mostrados na Figura 7:

Figura 7 - Passos para preparar a empresa para a implementação do Green



6º: Também é desejável envolver a cadeia de suprimentos da organização assim como os seus clientes; eles podem oferecer soluções que não são facilmente percebidas por quem está do lado de dentro.

Fonte: Adaptado de Dillon e Fischer (1992)

Finalmente, objetivos desafiadores e monitoração constantes para alcançá-los podem ajudar a criar uma manufatura *Green* eficiente.

2.3 PANORAMA LEAN E GREEN MANUFACTURING

2.3.1 Relações

A combinação do *Lean* e do *Green* tende a apresentar maiores benefícios para a empresa do que apenas a implementação de uma ou outra filosofia (CARVALHO; CRUZ-MACHADO, 2009).

Alguns desses benefícios foram estudados por Larson e Greenwood (2004), e foi chegado a uma conclusão de que o *Lean* aumenta a produtividade dos recursos utilizados, reduz a quantidade de energia e água e também dos produtos de saída associados ao processo produtivos, minimizando assim o impacto ambiental das atividades produtivas da organização.

“O *Lean* serve como um catalisador para o *Green*, o que significa que aquele facilita a transformação de uma empresa para o *Green*”. A frase de Dües et al. (2013), nos ajuda a compreender a alegação de Porter e van der Linde (1995), que diz que a ineficiência de recursos, que muitas vezes ocorre nas empresas sob forma de uma utilização incompleta dos materiais ou de controle ineficiente de processos, causa ruídos, defeitos e armazenamento desnecessário de materiais. São tais ineficiências que o pensamento *Lean* tenta minimizar, pois elas não agregam valor algum na produção. Da mesma maneira, a redução ou eliminação das ineficiências de recursos nos permite uma maior perspectiva de sustentabilidade, já que quanto menos ineficiência, menor os encargos ambientais originados da mesma.

Sendo assim, é possível observar que a manufatura enxuta entende como resíduo algo sem valor agregado para o cliente (BICHENO, 2000). Enquanto isso, o *Green Manufacturing* foca no meio ambiente e percebe como resíduo a extração e a disposição de recursos que a natureza é incapaz de absorver (LOZANO, 2008).

As práticas da manufatura enxuta exigem uma certa eficiência, em qualquer parte do processo produtivo e de gestão, assim como na parte de qualidade, para possibilitar que a planta ofereça recursos e tenha capacidade de dar o suporte necessário para que haja a preservação dos recursos ambientais.

Especificamente, a planta que é culturalmente guiada por melhoras contínuas (*Kaizen*) e que conta com a flexibilidade e habilidade dos colaboradores, mostra uma inclinação a ter atitudes ecologicamente corretas em relação aos processos de produção e logística externa (GONZALEZ-BENITO, 2008).

Nessa linha de pensamento, Yang et al. (2011) afirma que a melhoria contínua dos processos de produção e do abastecimento da cadeia produtiva convergem para uma melhor produção, recursos usados de maneira mais eficiente e práticas que facilitam a implementação do pensamento *Green*.

2.3.2 Estado da arte sobre *Lean e Green Manufacturing*

Mesmo com vários argumentos que convergem para a importância dos pensamentos *Lean* e *Green* como sendo essenciais para se obter sucesso no meio empresarial, não existe tanto material quanto desejado, que estabeleça uma relação entre esses dois conceitos (JOHANSSON; SUNDIN, 2014).

Os autores King e Lenox (2001) acreditam que o *Lean* e o *Green* são complementares. Por exemplo, as práticas do 5S associadas ao *Lean Manufacturing* levaram a redução de vazamentos e outras formas de desperdício ambiental. Eles tentam provar essa crença mostrando empiricamente que os princípios do *Lean* guiam para a prevenção da poluição, reduz barreiras para a implementação de soluções para minimizar o desperdício ambiental, e ajuda a identificar custos das oportunidades de redução desse desperdício. Além disso, o *Lean Manufacturing* reduz os custos marginais do *Green Manufacturing* pelo fato de compartilhar práticas e complementar os ideais do último.

Segundo o estudo de Bigs (2009), a integração da manufatura enxuta com a o uso do *Green* pode ajudar a tornar menores os impactos ambientais causados pela organização. Isso ocorre porque o pensamento *Lean* é capaz de proporcionar benefícios ambientais, mesmo que não haja uma intenção direta de reduzir os impactos, e, além disso, ele pode contribuir para melhorias ambientais, assim como para melhorias na produtividade.

Larson e Greenwood (2004), foram os autores de um estudo que explicitaram alguns dos benefícios que a implementação do *Lean* na cadeia de suprimentos e nas atividades gerais da organização pode gerar. De acordo com eles, tal filosofia pode melhorar a produtividade dos recursos, reduzir a quantidade de energia, água, matéria-prima e subprodutos associados ao processo produtivo, minimizando assim o impacto ambiental gerado pelo mesmo processo.

Quando citamos a cadeia de suprimentos, podemos falar também do estudo de Florida (1996), que descobriu que as empresas progressistas aplicaram práticas de gestão (compromisso de gestão, times, novas tecnologias de processo, design inovador de produtos, gestão da cadeia de suprimentos) direcionadas a redução de desperdício ambiental. O autor indicou que estas práticas estão associadas a ambos sistemas de manufatura *Lean* e *Green*. Pra Florida, instalações avançadas de manufatura, como aquelas organizadas sob os princípios da produção enxuta, são regidas sob os mesmos princípios – dedicação à melhores práticas de produção, qualidade, redução de custos e melhoria contínua – do que as organizações que seguem uma linha de inovação ambiental.

Os autores Simpson e Samson (2010) ressaltaram em seu trabalho o quanto sistemas avançados de manufatura (no caso do *Lean*, práticas como JIT e TQM) podem influenciar positivamente a performance ambiental da companhia.

Uma pesquisa (JABBOUR et al., 2013) realizada em 72 empresas do segmento automotivo no Brasil buscou mostrar a relação entre a gestão ambiental e a performance operacional das mesmas. Os autores descobriram que impulsionando praticas ambientas, abrangendo junto o processo produtivo, a seleção de fornecedores, a comunicação e política corporativa da empresa, era possível obter um impacto positivo, mesmo que fraco, sobre os resultados operacionais.

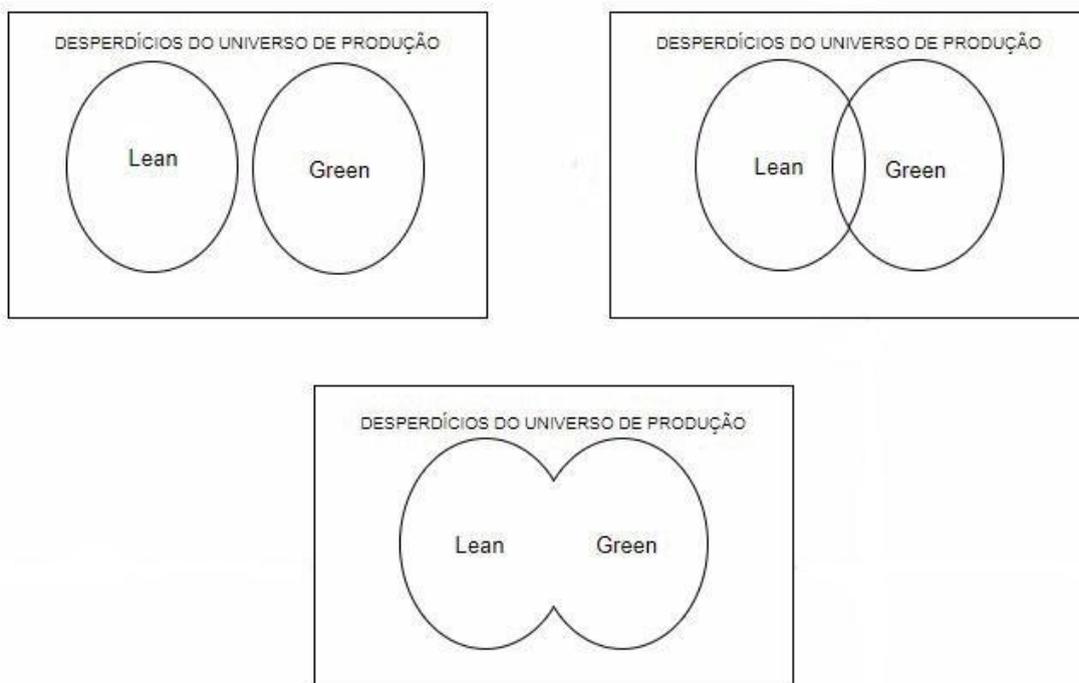
Outro estudo, realizado por Klassen (2000), demonstrou alguns benefícios alcançados através da implementação de técnicas JIT e uso de tecnologias de prevenção a poluição.

Da mesma maneira, o processo de pintura de 17 fabricantes de equipamentos originais na indústria automobilística foi explorado (PIL e ROTHENBERG, 2001), e como resultado, foi descoberto que as práticas de TQM ajudam a utilizar a tinta de maneira mais eficiente, e que as iniciativas ambientais ajudam a companhia a superar questões relacionadas com a qualidade, resultando em um incremento no desempenho operacional.

Em pesquisas mais recentes, Dues et al. (2012) tentaram entender de que maneira as práticas do *Lean* poderiam agir como catalisadores para as operações do pensamento *Green*. Na visão dos autores, a ligação entre os dois pensamentos (*Lean* e *Green*) vai além da redução de resíduos; na verdade se estende para ferramentas e práticas, relação entre os membros da cadeia, redução do *lead-time*, foco nas pessoas e na organização e uso das técnicas de redução de resíduos.

Bergmiller (2006) demonstrou através de diagramas de Venn entre os sistemas *Lean* e *Green* como mostrado na Figura 8:

Figura 8 – Evolução da relação entre os sistemas Lean e Green Manufacturing



Fonte: Adaptado de Bergmiller (2006)

Na imagem mostrada acima, observamos a evolução que os estudos nos trouxeram em relação à integração dos sistemas de manufatura *Lean* e *Green*. A primeira imagem simboliza o paralelismo entre os sistemas, uma visão mais tradicional em que as práticas dos dois sistemas são consideradas em conjuntos distintos de soluções destinadas a diferentes formas de resíduos. Na sequência observamos uma visão moderna, onde as melhores práticas dos dois sistemas são consideradas complementares. E por fim, a transcendência, onde as organizações estão implementando ativamente ambos os sistemas e não somente explorando as soluções em comum (BERGMILLER, 2006).

2.3.3 Ferramentas *Lean* associadas ao *Green Manufacturing*

A eficiência dos materiais usados na produção é otimizada quando garantimos que o valor do material recuperado do descarte for o maior valor possível, por exemplo, no caso de reuso de material reciclado ou uma energia reutilizada (EU, 2006).

Esse princípio usado para aumentar a eficiência do material usado nas operações foi formulado na hierarquia dos resíduos, mostrado na Figura 9:

Figura 9 – Hierarquia dos resíduos



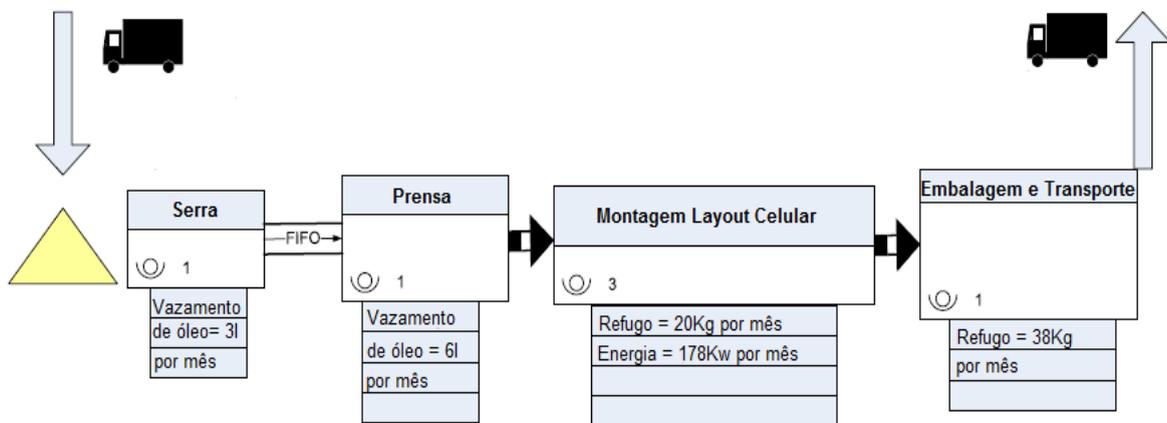
Fonte: Adaptado Kurdve et al., (2011)

Na hierarquia dos resíduos, é geralmente assumido que, de um ponto de vista ambiental e empresarial, a redução do uso de material é melhor do que o reuso dos componentes, que seria melhor do que materiais recicláveis, que por sua vez é melhor do que uma operação de recuperação de energia, disposição de resíduos em aterros ou espalhando-o no ambiente (EU, 2006).

Para analisar o conteúdo e a composição dos resíduos, a ordenação dos mesmos é uma importante ferramenta para avaliação e análise da gestão dos resíduos industriais (HIGHLAND e STENIS, 2000). Outra ferramenta importante para entender a origem dos resíduos é o Mapa de Fluxo de Valor (MFV), que é típico do *Lean*, e com essa ferramenta os gerentes podem desenhar e mapear todo o layout da planta de produção, desde a entrada da matéria-prima até a saída da fábrica (ROTHER; SHOOK, 2003). Após o mapeamento da produção, os gerentes conseguem identificar os sete desperdícios e quantificá-los.

Da mesma maneira, Wills (2009), sugere que se os gerentes usarem o MFV Ambiental será possível identificar os sete desperdícios ambientais: energia, água, materiais, lixo, transporte, emissões e biodiversidade. Segue abaixo na Figura 10, um exemplo de MFV ambiental que mostra a quantidade de desperdício, independente da natureza, gerado em cada processo.

Figura 10 – Exemplo de um MFV Ambiental aplicado



Fonte: Adaptado Chiarini (2014)

Além do MFV, existem outras ferramentas que quando utilizadas podem trazer benefícios para a empresa no âmbito ambiental. Abaixo no Quadro 3, é mostrada uma relação entre as ferramentas do *Lean* e como elas estão relacionadas a uma produção mais sustentável.

Quadro 3 – Principais ferramentas *Lean* relacionadas com o *Green Manufacturing*

Kanban (cartões visuais que auxiliam no planejamento de produção e controle de estoques)	Redução na quantidade de produtos fabricados, diminuindo o volume de estoque, deterioração e a consequente geração de resíduos e sua disposição no meio ambiente.
Poka-yoke (dispositivo cujo objetivo é evitar a ocorrência de defeitos em processos)	Redução da fabricação de produtos defeituosos, diminuição do consumo de recursos como materiais e energia, redução do estoque e de produtos descartados.
5S (técnica que visa alcançar maior produtividade através de um planejamento sistemático)	Maior visibilidade do processo produtivo e rápida identificação de desperdícios, eliminando problemas antes que eles ocorram.
SMED (reduz o tempo de troca de ferramentas e paradas de máquinas)	Redução da fabricação de produtos defeituosos, diminuição do consumo de recursos como materiais e energia, redução do estoque e de produtos descartados.
Manufatura Celular (reúne famílias que possuem características similares)	Projeto para facilitar o processo de fabricação, redução da movimentação dos materiais, diminuindo a possibilidade de estragos em seu manuseio e o consequente descarte.
Inspeção Autônoma (o trabalhador é capacitado para detectar problemas antes que ocorram)	Redução na fabricação de produtos defeituosos, com a consequente diminuição do consumo de materiais e energia.
Manutenção Produtiva Total (é um programa de manutenção de fábrica e equipamentos)	Diminuição das paradas de máquina para manutenção e, conseqüentemente, do consumo de materiais para seu conserto e assim menor geração de resíduos. Melhor rendimento da máquina facilita a manutenção e aumenta a qualidade do produto final.

Fonte: Adaptado Elias e Magalhães (2003)

Como mostrado no Quadro 3, existe uma relação forte entre os temas abordados no referencial teórico, o *Lean* serve sim como sintetizador do *Green Manufacturing*, facilita sua implementação e empresta suas ferramentas para que essa nova filosofia alcance suas metas.

2.4 SOFTWARE UMBERTO E A PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA

Conforme destacou Silva et al. (2013), a *Green Manufacturing* junto com conceitos de eco eficiência industrial, deve possuir atenção para a visão de ciclo de vida do produto. Há disponível no mercado alguns softwares que trabalham com a perspectiva de ciclo de

vida de produto para a avaliação de potenciais impactos ambientais de processos. Entre os principais, pode-se destacar o SimaPro, GaBi, OpenLCA e Umberto.

Num estudo comparativo feito com outros softwares, os autores Silva et al (2017) apresentaram resultados que mostraram que o Umberto utiliza da perspectiva de ciclo de vida e análise de fluxo de materiais para gerar resultados utilizando o diagrama de Sankey, trabalhando coma análise de inventário e Avaliação de Ciclo de Vida. Além disso, os resultados podem ser exportados para o Excel em forma de tabela dinâmica. O software Umberto que, além de permitir o desenvolvimento de cálculos específicos definidos pelo usuário, tornando o sistema fiel, segundo Saraiva et al (2007), possui uma grande flexibilidade, possibilitando o desenvolvimento de qualquer tipo de sistema, podendo ser adaptado, foi escolhido. O software permite uma análise de fluxo de materiais e energia, através de suas redes de fluxo, tornando possível uma análise tanto de aspectos ambientais, como de aspectos financeiros de todas as atividades componentes do sistema, dependendo do objetivo do estudo.

É importante que seja descrito as relações entre os dados levantados, além de suas quantidades de entrada e saída, pois segundo o autor, todos os fluxos de entrada devem ter fluxos correspondentes de saída, mesmo que estes sejam decompostos em diferentes produtos. O software baseia-se nessas definições para elaborar os balanços de forma a melhor representar o que acontece no cenário atual.

Com base nos resultados obtidos na interpretação e nas ferramentas utilizadas pelo sistema, é possível comparar cenários alternativos para melhorar a eficiência técnica e financeira do processo, além de levantar os importantes aspectos ambientais, propósito esse que mais interessa no presente projeto.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para se atingir os objetivos propostos no primeiro capítulo e alcançar o tema proposto por este trabalho.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gil, A. C., (1999) a metodologia utilizada no desenvolvimento desse trabalho pode ser classificada das seguintes maneiras:

- De acordo com sua natureza, esse trabalho se apresenta como sendo aplicada, pois visa responder a uma questão inicial e explicar como seria feita a adaptação do MFV para uma produção verde;
- Em relação à forma de abordagem, essa pesquisa se caracteriza como quantitativa. É quantitativa por causa da origem de seus dados, pois estes são objetivos. Nessa pesquisa serão coletados valores gerados por máquinas, depois eles serão analisados objetivamente e uma relação entre eles será observada. Sob essa ótica os resultados da pesquisa são reprodutíveis e generalizáveis (HAYATI et al., 2006);
- Por ser uma pesquisa que visa proporcionar uma maior familiaridade com a relação entre o *Lean* e o *Green Manufacturing* através de exemplos práticos e estudos de casos, a mesma pode ser classificada como exploratória quando classificada pelos seus objetivos;
- Em último lugar, alguns dos procedimentos usados aqui foram estudos de casos, que mostraram como o MFV foi adaptado para o *Green Manufacturing*, dados bibliográficos extraídos de livros e publicações que abordavam temas semelhantes ao pesquisado, e também um levantamento de dados contidos em documentos, que mostram como a empresa aplica as ferramentas do *Lean Manufacturing* e quais dados ela obtém a partir delas.

3.2 3.2. O CASE ANALISADO

O caso aqui analisado se refere à uma empresa multinacional de montagem automobilística na cidade de Ponta Grossa, estado do Paraná. A empresa foi selecionada pela facilidade de coleta dos dados, além de apresentar um dos requisitos para a adaptação da ferramenta Mapa de Fluxo de Valor, que era apresentar práticas da filosofia *Lean*, que facilitasse a aplicação da ferramenta visando uma produção mais verde. A empresa já contava com práticas como *Gemba Walk*, 5S, gestão a vista e começava a dar os primeiros passos para diminuir atividades que não agregavam valor utilizando a medição de tempos e métodos. A empresa onde os dados foram coletados está no Brasil há menos de quatro anos, por isso algumas práticas do *Lean* ainda estão em processo de implementação, mas graças a isso foi possível coletar dados como tempo de ciclo, mão de obra e outros com uma certa precisão, são dados atualizados que poderão ser utilizados para próximas avaliações.

Dentro do processo produtivo da empresa havia várias estações de montagem, porém para esse trabalho foram selecionadas três, que conforme a orientação de um dos engenheiros, eram as que mais geravam resíduos de papelão por causa do tamanho das peças montadas ali. Os processos que ocorriam nas três estações selecionadas faziam parte da montagem da parte da cabine e eram realizados por um funcionário, que se movimentava junto com a linha. As peças maiores se encontravam ainda nas embalagens do lado da linha, por isso era fácil de observar a quantidade de resíduos gerada.

Junto com o gestor e o orientador, foi decidido que, para facilitar os cálculos todos os valores seriam convertidos para CO₂ equivalente/caminhão quando o resíduo analisado for referente às embalagens.

3.3 3.3. ETAPAS PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Foram elencadas as seguintes etapas, listados no Quadro 4, para a geração de resultados parciais necessários para alcançar o objetivo geral deste trabalho.:

Quadro 4 – Etapas da pesquisa

Etapas	Como?	Resultado Gerado
Etapa 1	Desenvolver o Mapa de Fluxo de Valor atual com as informações habituais para identificar as oportunidades de melhoria.	Mapa de Fluxo de Valor Construído
Etapa 2	Identificar os postos que mais geram intervenções ambientais durante o fluxo de valor.	Coleta de dados que demonstrem as intervenções ambientais em termos de materiais, energia e carbono.
Etapa 3	Escolher os postos que apresentaram intervenções mais significativas e coletar os dados.	Análise dos dados coletados
Etapa 4	Fazer um novo Mapa de Fluxo de Valor usando as novas métricas selecionadas para representar os aspectos e impactos gerados nos postos selecionados. Vale lembrar que esse Mapa deverá ser atualizado a cada <i>Kaizen</i> realizado nesses postos.	Elaboração de um novo Mapa com a métricas Green
Etapa 5	Reiniciar o ciclo. A sustentabilidade dos resultados obtidos com esse novo mapeamento deve ser avaliada seguindo um padrão previamente desenvolvido pela equipe responsável pela implementação das ferramentas escolhidas para serem adaptadas.	Nova coleta de dados e elaboração do MFV para Produção Verde

Fonte: Autoria própria (2017).

Etapa 1: Desenvolver MFV atual

Para a elaboração do MFV atual foi necessária a coleta de dados como o número de colaboradores nas estações, tempo de execução de cada ação, tempos que agregavam e não agregavam valor, quais eram as estações e quais montagens ocorriam nelas, com isso foi feito o cálculo do *lead time* e *takt time*. A maioria desses dados já haviam sido coletados pela área de manufatura da empresa, então o acesso a eles não foi um problema.

Dito isso, o mapa de fluxo de valor foi feito após uma coleta dados e está representado na Figura 11(pág. 42).

Etapa 2: Identificar as intervenções ambientais

Nessa etapa foi observado quais foram as intervenções ambientais que poderiam trazer maiores oportunidades de melhoria. Foram escolhidos consumo de energia, quantidade de embalagens descartadas nas estações e a pegada de carbono (da energia elétrica e dos materiais de embalagem consumidos, em Kg de CO₂ equivalentes). Para o cálculo de CO₂ equivalente utilizou-se do software Umberto, a base de dados de inventários de ciclo de vida Ecoinvent v.3.3, e a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida e Pegada de Carbono. Para tanto, foi utilizado o método de caracterização de impactos IPCC 2013, Climate Change, GWP 100 anos (Potencial de Aquecimento Global).

O consumo de energia na produção não se diferencia tanto de uma estação para a outra, já a quantidade de embalagem sim, pois está relacionada com o tamanho das peças e quantidade de peças/caixa utilizadas na montagem feita nas estações selecionadas.

O fato de peças grandes, que necessitam de embalagens igualmente grandes, foi observado durante o mês que naquelas estações era gerado grande quantidade (peso) de papelão, aumentando o impacto causado no meio ambiente.

Etapa 3: Escolher, coletar e a analisar os dados

Após introduzidos os dados coletados no software UMBERTO, foi calculado o impacto causado em termos de CO₂ equivalente, que mostrou o quanto a pegada de carbono dos processos analisados estava presente nos dois aspectos selecionados para o trabalho. Uma vez feitos os cálculos, permite-se ver quais ferramentas seriam aplicadas com mais facilidade e que surtiriam mais efeitos no processo de mudança para diminuir os resíduos ambientais gerados.

Etapa 4: Elaborar um novo MFV

Mais para frente será observado no trabalho que o mapa de fluxo de valor construído já possui as novas métricas selecionadas para demonstrar os impactos ambientais e suas origens. No mapa temos tanto as unidades tradicionais que informam o

lead time, quanto a energia (kWh) e o papelão (Kg) presentes nos processos e seus respectivos impactos na pegada de carbono (CO₂ equivalente) que tais métricas representam. O mapa deixa tudo mais visual e de mais fácil compreensão para aqueles que farão uso dele. O CO₂ equivalente foi escolhido como métrica para este trabalho por ser a melhor maneira de expressar o uso de energia, que foca na eficiência no uso dos recursos; a geração de resíduos sólidos, representado aqui pelo papelão das embalagens, que reflete o cuidado que a fábrica presta com a capacidade dos aterros sanitários; e por fim o ciclo de vida do produto, que mostra o impacto total sobre o meio ambiente, no caso da energia e do papelão, também foi demonstrado através do CO₂ equivalente.

Etapa 5: Reiniciar o ciclo

Um dos princípios do *Lean Manufacturing* que deve ser seguido após as adaptações é o *Kaizen* que tem como ideia principal a melhoria contínua dos processos, sempre atrás do desperdício zero. Para se atingir essa meta, é necessário a contribuição de todos os colaboradores, e como já citado, um profissional totalmente voltado para a aplicação do *Green* liderando a todos.

Como dito anteriormente, o *Kaizen* seria a melhoria contínua de um processo inteiro ou de um processo individual, com o intuito de criar mais valor com menos desperdícios, por isso a importância de realizar essas medições com um intervalo de tempo definido previamente. Com isso será possível analisar se as adaptações surtiram os efeitos esperados e qual passo tomar a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como foi proposto no Quadro 4, primeiramente foi desenvolvido um MFV do estado atual, com as métricas normais no mesmo. As estações escolhidas realizavam as atividades descritas no Quadro 5:

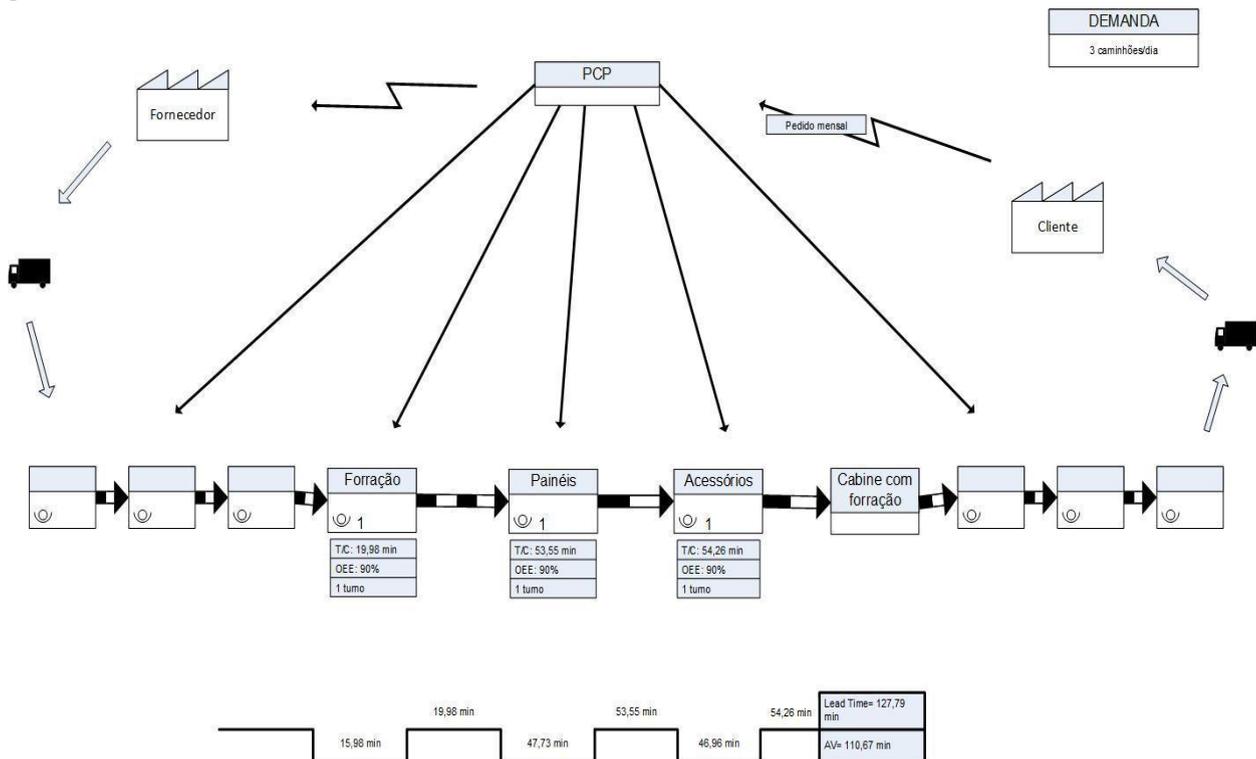
Quadro 5 – Processos realizados nas estações selecionadas

Estação 8	Estação 9	Estação 10
Sub montagem forração traseira	Pré-montagem forração traseira superior	Instalar pedal box
Sub montagem forração teto	Instalar forração traseira superior e porta treco	Colocar tapete
Sub montagem forração lateral	Instalar painel de luz	Instalar motor para-brisa
Instalar forração lateral	Instalar trilho e cortina	Sub montagem alto falante superior
Instalar forração traseira	Instalar painel superior	Sub montagem porta treco/freezer
Instalar forração teto	Instalar forração lateral superior	Sub montagem alto falante inferior
Instalar luzes internas	Instalar painéis laterais e do teto	Instalar porta treco/freezer e alto falantes
		Instalar cama inferior
		Instalar cama superior

Fonte: Autoria própria

Com os dados referentes a essas atividades, foi montado o MFV da Figura 11:

Figura 11 – MFV atual



Fonte: Autoria Própria (2017)

Os dados apresentados aqui são referentes as três estações de montagens, portanto o *lead time* e as atividades que agregam valor são referentes a tais estações.

Todas as métricas foram consideradas por caminhão. A maioria das informações foram coletadas através do sistema onde todos os dados são armazenados, pois eles possuem cada peça utilizada em cada montagem analisada nos postos selecionados. Dando sequência as etapas propostas, foram identificadas duas intervenções ambientais resultantes do processo que são a energia elétrica e as embalagens. As atividades não utilizam água, somente energia elétrica. A maioria dos resíduos são referentes às embalagens.

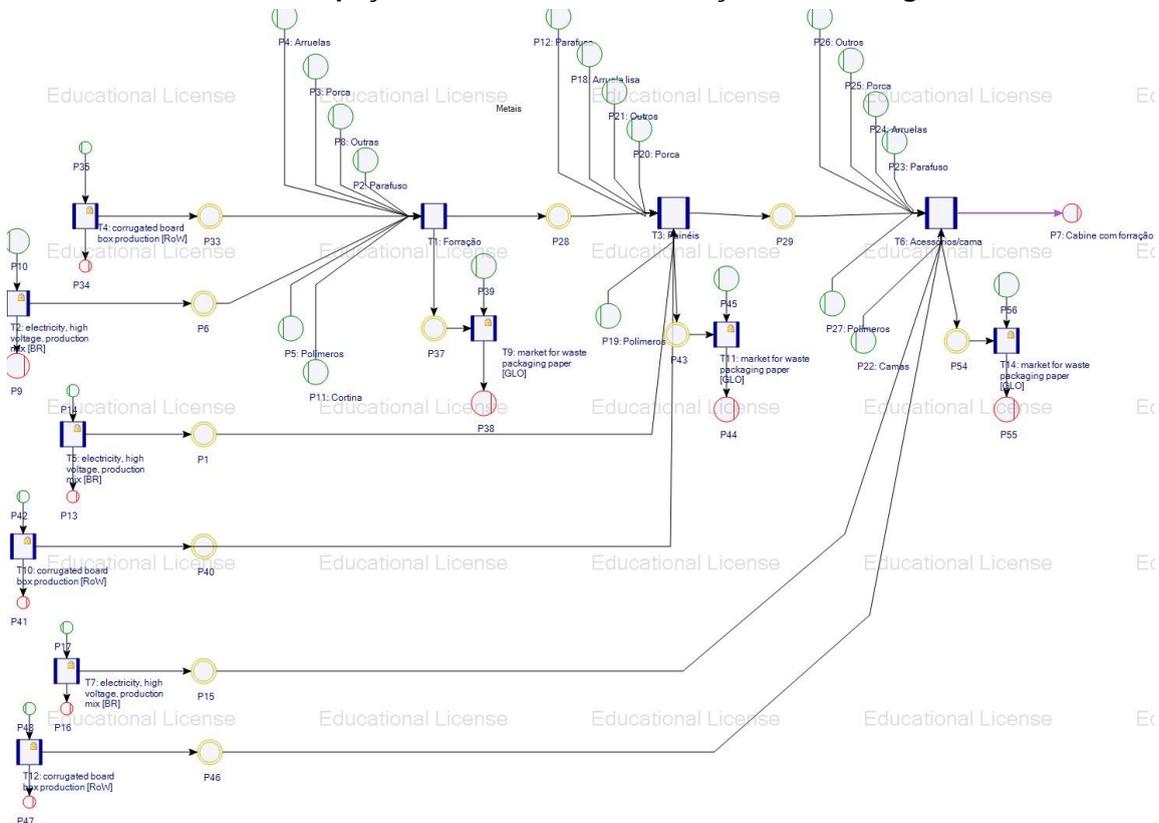
Em relação as duas intervenções, os dados relacionados a elas oscilam por causa de erros de produção, falta de comunicação entre setores e muitos testes com novos produtos e embalagens, o que dificulta um pouco na precisão quando se trata dos resíduos gerados. Outro detalhe é que a empresa não possui um controle da energia utilizada em cada atividade/posto; relativo à energia, o único valor disponibilizado foi o consumo de energia mensal relacionado à iluminação dos postos.

Após a coleta desses novos valores relacionados às intervenções, foi utilizado o software Umberto para calcular a pegada de carbono das intervenções. O software foi utilizado de modo a obter as quantidades de CO₂ equivalente gerado pelos resíduos provenientes das montagens realizadas nas estações escolhidas, sendo esses resíduos embalagens e energia utilizada em cada estação, para cada cabine montada.

No Umberto foram criados novos materiais, específicos para o modelo estudado. Junto com os materiais foram lançadas as quantidades de cada peça utilizada nos processos de montagem; para essas peças o tipo de unidade de medida que foi escolhido foi a de Unidades, uma vez que o peso das peças era desconhecido. Por esse motivo outro tipo de análise vai ser feita, a de fluxo de materiais. No caso desse estudo, esse método vai auxiliar na visualização da quantidade de cada tipo de peça que é utilizado na montagem, podendo assim destacar potenciais focos de melhoria quando relacionado com a quantidade de tais peças por embalagem.

A Figura 12 mostra o fluxo de tudo que participa do processo, ainda sem calcular os valores:

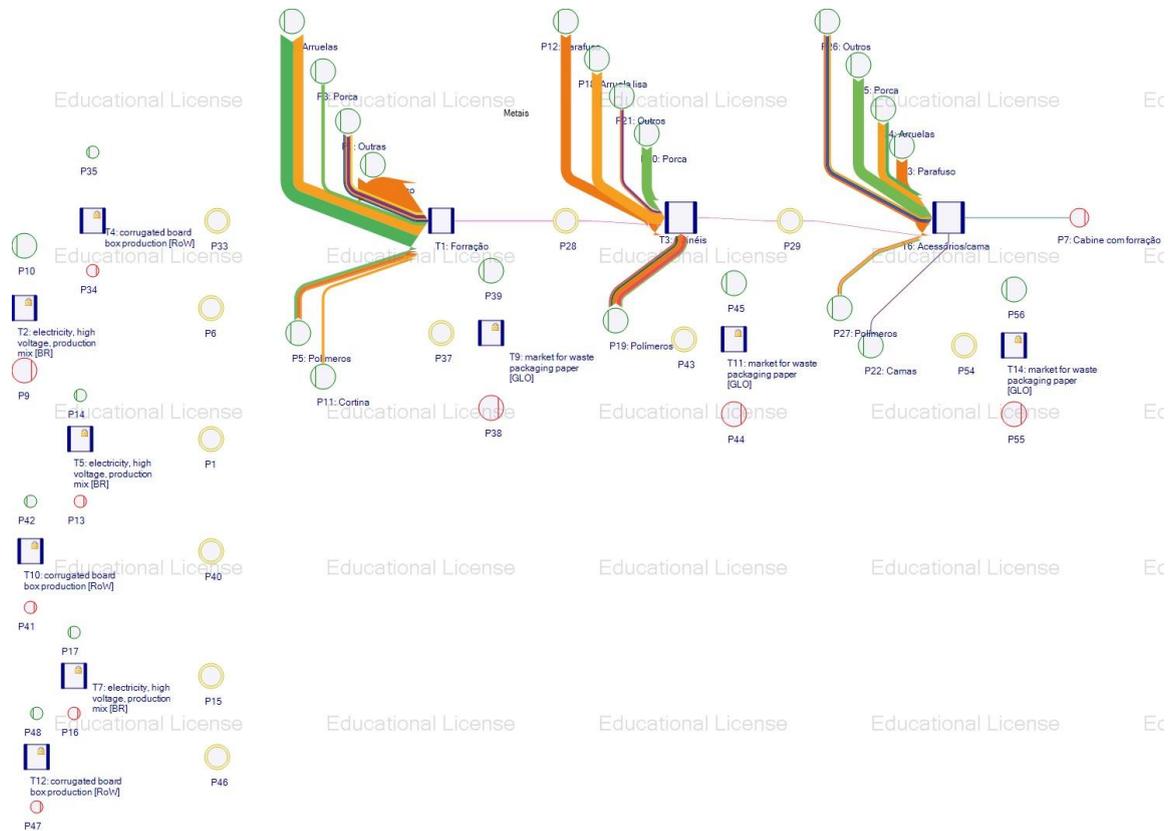
Figura 12 – Direcionamento de peças e insumos em três estações de montagem



Fonte: Autoria Própria (2017)

Selecionando a opção de visualização de fluxo de materiais e de energia através do Diagrama Sankey no software, é possível visualizar a quantidade de peças utilizadas no processo, como mostrado abaixo na Figura 13:

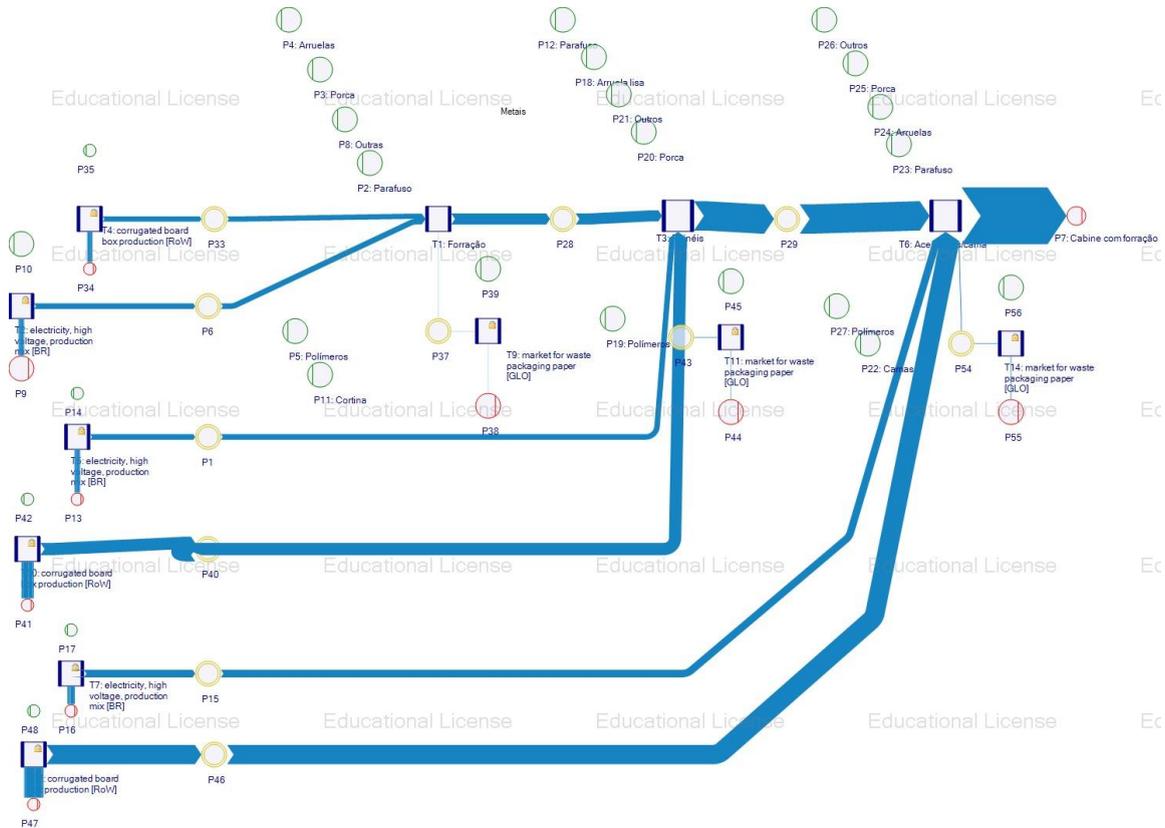
Figura 13 – Quantidade de material utilizado em cada estação



Fonte: Autoria Própria (2017)

Após executar o software e calcular o fluxo, foi possível selecionar no diagrama Sankey o que deveria aparecer no resultado final. Nesse caso foi escolhido a quantidade. É possível observar quais materiais são os mais utilizados em cada estação e sua diferenciação é percebida através das cores de cada fluxo. Foi notado que entre os materiais, os usados em maior quantidade são os metais, como arruelas, parafusos e porcas. Esses fluxos se encontram nas entradas superiores da Figura 13. Além da quantidade, foram gerados mais dois resultados, o de energia e, por fim, o de CO₂ equivalente que todas essas atividades geram.

Figura 15 – Diagrama Sankey da pegada de carbono (CO₂ equiv.) do processo analisado



Fonte: Autoria Própria (2017)

A Figura 15 mostra a quantidade de CO₂ equivalente ao longo da produção da energia consumida na fábrica e também na produção das embalagens descartadas. Como as peças foram contabilizadas por unidade e não houve nenhuma especificação em relação ao material das mesmas, a geração de CO₂ provinda da fabricação delas não foi levada em consideração. Segundo os cálculos do software:

Tabela 1 - Pegada de carbono do sistema analisado considerando energia elétrica e materiais de embalagem

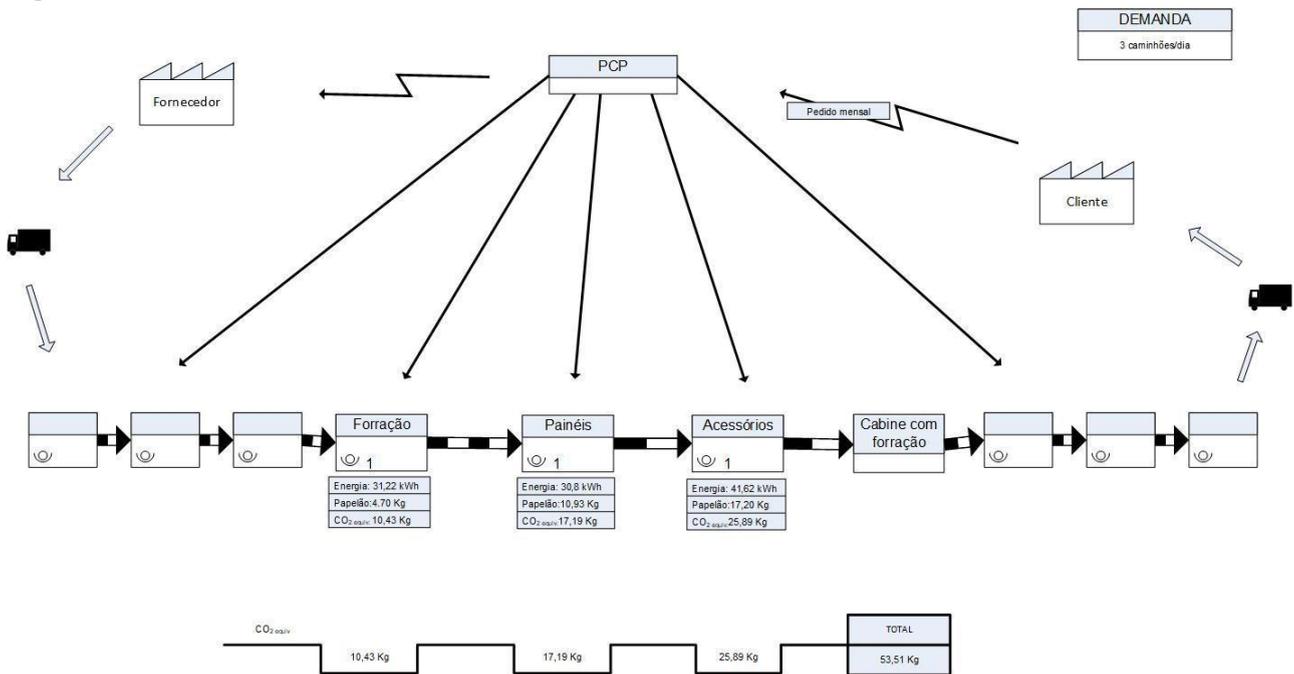
	Energia (CO ₂ equiv./kW)	Produção embalagem (CO ₂ equivalente/Kg)	Descarte embalagem (CO ₂ equivalente/Kg)	Total
T1: Forração	5,28	4,97	0,18	10,43
T2: Painéis	5,21	11,56	0,42	17,19
T3: Acessórios/cama	7,04	18,19	0,66	25,89

Fonte: Autoria própria (2017)

Portanto, na saída da terceira estação foi contabilizado um total de 53,51 Kg de CO₂ equivalente. Lembrando que esse valor não leva em consideração o ciclo de vida das peças utilizadas por razões já esclarecidas, ou seja, esse número é menor do que o que realmente acontece nos processos de montagens aqui analisados. Por causa disso, as soluções propostas irão focar na redução do CO₂ equivalente gerado na produção de energia e de papelão.

Como foi visto, o software torna visível a quantidade de CO₂ equivalente nas embalagens, desde sua produção ao descarte, e também a quantidade presente no consumo de energia. Com os resultados em mãos, foi feita uma análise dos mesmos para se decidir qual tipo de ferramenta melhor auxiliaria para a diminuição dos valores e a ferramenta escolhida foi o próprio MFV, só que agora com os novos valores, como apresentado na Figura 16:

Figura 16 – MFV com as novas métricas



Fonte: Autoria própria (2017)

Os resultados deixaram evidente que todo o ciclo de vida do papelão tem uma pegada de carbono significativa, maior mesmo que o consumo de energia, mesmo que o material volte para o mercado e não seja descartado. Também foi observado através dos resultados do software que as estações que montam as maiores peças são as que tem maior pegada de carbono em relação à embalagem. As métricas foram citadas no Quadro 2 (pág. 26) foram escolhidas por melhor se adequarem aos tipos de dados recolhidos.

Os resultados observados a partir da utilização do Umberto mostraram a proporção da pegada de carbono existente em cada uma das estações mapeadas, mas somente num total de energia e embalagens. Com a coleta de dados mais específicos o software é capaz de mostrar quais as embalagens que causam um maior impacto, quais as peças que mais influenciam na quantidade de material utilizado em cada estação, o que possibilitaria um estudo do setor de logística e manufatura, para uma eventual mudança e melhoria do processo. Por causa do resultado do software foi possível notar a grande contribuição das embalagens na pegada de carbono, por isso um estudo para utilizar embalagens retornáveis, principalmente para peças grandes, seria interessante.

Em relação a pegada de carbono da energia, já foi iniciado um projeto para desligar as ferramentas e iluminação nos momentos de intervalo. Nessa empresa seria possível a

análise de outras variáveis que permitiriam a utilização de outras ferramentas do *Lean* como por exemplo o *Kanban* para diminuir a emissão de carbono das empilhadeiras, na consequente diminuição do transporte dentro das dependências da fábrica. Outra ferramenta que poderia ser adaptada aqui seria a inspeção autônoma, que diminuiria o desperdício de energia e os produtos descartados por causa de possíveis defeitos.

Como foi mostrado na Figura 9 (pág. 32), a redução e a prevenção estão nos níveis mais altos da hierarquia dos resíduos, mostrando que a redução do consumo de energia e uma possível opção de embalagens retornáveis alcançariam resultados significativos na redução da pegada de carbono analisada inicialmente.

5 CONCLUSÕES

A importância da existência da filosofia *Lean* anterior a qualquer tentativa de produção sustentável se dá pelo fato de tal filosofia visar reduzir o desperdício, além de guiar a produção para a prevenção da poluição, redução de barreiras para a implementação de soluções para minimizar o desperdício ambiental, e ajuda na identificação dos custos das oportunidades de redução desse desperdício.

Neste trabalho foi proposto uma abordagem à produção sustentável através da filosofia e das ferramentas do *Lean*. Potenciais benefícios entre a combinação de filosofias foram investigados buscando auxiliar tanto o meio ambiente em termos de resíduos gerados como também o desempenho operacional da empresa.

No caso aqui demonstrado, o mapeamento foi feito em apenas estações de montagem previamente selecionadas pois o número muito grande de estações foi uma dificuldade para apresentar um trabalho mais abrangente, que alcançasse mais variáveis. Outra limitação foi o fato da empresa ainda não tem a filosofia *Lean* totalmente desenvolvida em suas atividades. Independente desses fatores, o estudo pode ser expandido pois os princípios *Lean* estão presentes em toda a organização.

Foi escolhido o mapa de fluxo de valor por este ser uma das ferramentas mais utilizadas para representar uma produção enxuta para identificar os desperdícios a serem eliminados posteriormente através do *Kaizen*. O MFV com métricas de materiais consumidos, energia elétrica e pegada de carbono foi desenvolvido incluindo as métricas para que fosse possível medir os impactos gerados através da pegada de carbono do sistema e identificar oportunidades de redução de desperdícios do *Lean* e *Green Manufacturing*.

Os resultados gerados pelo software permitiram uma visão mais clara de onde se encontrava a maior pegada de carbono nos processos analisados, além disso ele possibilita, através de suas diversas opções, analisarmos futuramente cenários possíveis de diferentes fontes de energia, diferentes destinos para as embalagens e outras variáveis que interfiram na pegada de carbono. Uma sugestão seria, verificando o tipo de embalagem das peças, desenvolver os fornecedores para que houvesse algum tipo de logística reversa, ou no mínimo embalagens menos agressivas ao meio ambiente, de material reciclado por exemplo.

A utilização do mapa de fluxo de valor é possível em diversos tipos de empresas, possibilitando assim as etapas citadas na metodologia para aplicar a ferramenta adaptada, como foi feito nesse trabalho, porém é preciso ressaltar a importância dos dados utilizados, sendo que quanto maior a quantidade e as fontes dos dados, mais numerosas serão as possibilidades de análises que resultarão em melhorias. Nesse trabalho, a intenção era desenvolver uma abordagem genérica, que somente dependesse do uso do software, que pudesse ser aplicada em qualquer segmento da indústria, contanto que a mesma possuísse filosofia *Lean*.

REFERÊNCIAS

- BERGER, A. Continuous improvement and Kaizen: standardization and organizational designs. **Integr.Manuf. Syst.** v.8, p.110-117. 1997.
- BERGMILLER, G. G. **Lean manufacturers transcendence to green manufacturing: correlating the diffusion of lean and green manufacturing systems.** Florida: University of South Florida, 2006.
- BICHENO, J. **The Lean Toolbox.** PICSIE Books, Buckingham, UK, 2006.
- BIGGS, C. **Exploration of the Integration of Lean and Environmental Improvement.** School of Applied Science, Cranfield University, Bedfordshire, UK, p. 391. PhD Thesis, 2009.
- CARVALHO, H; MACHADO, V C. "**Lean, agile, resilient and green supply chain: a review**". Proceedings of the Third International Conference on Management Science and Engineering Management, Thailand. 2009.
- CORRÊA, H.L.; GIANESI, G.N.: **Just in Time, MRP II e OPT: Um EnfoqueEstratégico,** Editora Atlas, 1993.
- CHIARINI, A. "Acomparison between time-drive activity-based costing and value stream accounting in a lean Six Sigma manufacturing case study".**Int. J. Productivity and Quality Management,** [S.L] v.14, n.2, p.131-148. 2014.
- DILLON, P.S.,FISCHER, K.. **Environmental Management in Corporations: Methods and Motivations** (Medford, Mass.: Center for Environmental Management, Tufts). 1992.
- DORNFELD, A. D. **Green manufacturing: fundamentals and applications.** Berkeley: Springer. 2012.
- DÜES, C.M.;TAN, K.H.;LIM, M. Green as the new lean: how to use lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **J. Clean. Prod.** n.40, p. 93-100.Feb 2013.
- ELIAS, S. J. B.; MAGALHÃES, L. C. Contribuição da Produção Enxuta para obtenção da Produção mais Limpa. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, 21 a 24 de outubro, 2003
- ELKINGTON, J. "ACCOUNTING FOR THE TRIPLE BOTTOM LINE", Measuring Business Excellence, Vol. 2 Iss: 3, pp.18 – 22, 1998.

EU. Waste Framework Directive. Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council. European Commission, Brussels, Belgium. 2006.

FLORIDA, R.L. Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing.[S.L]**Calif. Manag. Rev.** n.39, p.80-105. 1996.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção** – Mais do que simplesmente Just-In-Time. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul,1996.

_____. **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações.** Recife: Edit.da UFPE, 2000.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999

GONZALEZ-BENITO, J. The effect of manufacturing proactivity on environmental management: an exploratory analysis. **Int. J. Prod. Res.** v.24 n.46, p.7017-7038, 2008.

GORDON, P. **Lean and Green profit for Your Workplace and Environment.** Berrett-Koehler Publishers, San Francisco, 2001.

HAYATI, D; KARAMI, E.; SLEE, B. Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural poverty. **Social Indicators Research**, Springer, v.75, p.361-394, 2006.

HOGLAND, W., STENIS, J. Assessment and system analysis of industrial waste management. **Waste Manag**, [S.L],v.20, p. 537-543.

ITA - International Trade Administration. **How does Commerce define Sustainable Manufacturing?** Disponível em<http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp> 2010. Acesso em: 10 set. 2015.

JABBOUR, C.J.C.; et al. Environmental management and operational performance in automotive companies in Brazil: the role of human resource management and lean manufacturing. **J. Clean. Prod.** [S.L] n. 47, p.129-140. 2013.

JELINSKI, L. W.; et al. **Industrial Ecology: concepts and approaches.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 89, p. 793-797. 1992.Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.89.3.793> > Acesso em: 10 set 2015

JOHANSSON, G.; SUNDIN, E. Lean and green product development: two sides of the same coin? **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p.104-121. 2014.

KING, A.A.; LENOX, M.J. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. **Prod. Operat.Manag.** [S.L] v.3 n.10, p. 244-256, 2001.

KLASSEN, R.D. Just-in-Time manufacturing and pollution prevention generate mutual benefits in the furniture industry. *Interfaces* 30 (3), 2000.

KURDVE, M.; ROMVALL, K., BELLGRAN, M., TORSTENSSON, E. A systematic approach for identifying lean and green improvements related to packaging material in assembly. In: **Proceedings of the 4th Swedish Production Symposium**, Lund, Sweden. p.3-10, may 2011.

KUSIAK, A.; HUANG, C.C. **Development of modular products**: Intelligent Systems Lab., Univ. Iowa, Iowa City, working paper ISL – 9616, 1996.

LARSON, T., GREENWOOD, R. Perfect complements: synergies between lean production and eco-sustainability initiatives. **Environ. Qual. Manag.**[S.L] v.4 n.13, p. 27-36, 2004.

LIKER, J.K **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, p.316, 2006.

LOZANO, R., Collaboration as a pathway for sustainability. **Sustainable Development**, v.6 n.16, p.370–81.[S.L] 2007.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. **Léxico Lean**: glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

MOREIRA, F., ALVES, A., SOUSA, R. Towards eco-efficient lean production systems. **IFIP Adv. Inform. Commun. Technol.** n.322, p.100-108. 2010.

NIDUMOLU, R., PRAHALAD, C. K., RANGASWAMI, M. Why sustainability is now the key driver of innovation. **Harvard Business Review**,v.9 n.87, p. 56–64. [S.L] 2009.

OHNO, T. **Toyota Production System**: beyond Large Scale Production. Productivity Press, New York, NY. 1988.

_____. **Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, p. 31-35, 1997.

OLIVEIRA, D. P. R. de., **Planejamento estratégico**: conceitos, metodologia e práticas. 22.ed. São Paulo: Atlas, p. 335, 2005.

PORTER, M.E., VAN DER LINDE, C. Green and competitive: ending the stalemate. **Harv. Bus. Rev.** 1995.

ROTHENBERG, S; PIL, F; MAXWELL. Lean, Green and the Quest for Superior Performance, **Journal of Production and Operations Management**, v.3 n.10, [S.L]. 2001.

ROTHER, M., SHOOK, J. Learning to See. **The Lean Enterprise Institute**, Brookline, MA. 2003.

_____. Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA.

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

_____. **A study of Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Toquio, Japan Management Association, 1981.

SILVA, D. A. L., DELAI, I., CASTRO, M. A. S., & OMETTO, A. R. Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, 47, 174-187, 2013. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>>. Acesso em: 15 de set. 2015

SILVA, D.A.L., MORIS, V. A. S., PIEKARSKI, C. M., RODRIGUES, T. (2017) How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto. CILCA, 2-4, 2017.

SIMPSON, D., SAMSON, D. Environmental strategy and low waste operations: exploring complementarities. **Bus. Strategy Environ.** v.2 n.19, p.104-118. 2010.

WANG, L., & LIN, L. A Methodology Framework for the Triple Bottom Line Accounting and Management of Industry Enterprises. **International Journal of Production Research**, v.5 n.45, p. 1063-1088.[S.L], 2007.

WILLS, B. Green Intentions e Creating a Green Value Stream to Compete and Win. **Productivity Press**, New York, NY. 2009.

WOMACK, J.; JONES, D. Lean Thinking. **Free Press**, New York. 1998.

YANG, M.G.M., HONG, P., MODI, S.B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: an empirical study of manufacturing firms. **Int. J. Prod. Econ.** v.2 n.129, p. 251-261.[S.L] 2011.

