

## PROPOSTA DE MELHORIA NO PROCESSO PRODUTIVO DE MATERIAL COMPOSTO PELA ABORDAGEM *LEAN MANUFACTURING*

João Marcos Gomes de Mello, [jmgmello@gmail.com](mailto:jmgmello@gmail.com)

Luis Gonzaga Trabasso, [Gonzaga@ita.br](mailto:Gonzaga@ita.br)

### Institution and address

[Instituto Tecnológico de Aeronáutica](#)

[Divisão de Engenharia Mecânica](#)

[São José dos Campos - SP](#)

**Abstract.** Este artigo utiliza os conceitos do *Lean Manufacturing*, tais como: o mapeamento do fluxo de valor, eliminação dos sete desperdícios e melhoria contínua, para a elaboração de um método de mapeamento e eliminação de desperdícios no processo produtivo na área de material composto em uma indústria aeronáutica. Na elaboração do novo processo e implantação do mesmo, foram usadas ferramentas como a matriz de deficiência, diagrama de ishikawa e a matriz DSM. Esses conceitos aplicados possibilitaram resultados preliminares animadores em termos de produtividade.

**Keywords:** *Lean Manufacturing*, preparação do mapeamento do processo, modelagem do processo atual e desenho do processo ideal.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Niu (2005), na década de 1940, iniciaram-se as pesquisas sobre o uso estrutural de material composto em aeronaves. Já na década de 1950, houve uma rápida expansão da fibra de vidro em aplicações como carros, barcos e equipamentos esportivos.

Em meados da década de 1960, foram descobertos materiais como o Kevlar<sup>TM</sup> e matrizes termoplásticas. Com isso, foi possível constatar uma economia de até 30% no peso de alguns componentes, se comparado com a mesma geometria em alumínio ou titânio. Em 1965, ocorreu a primeira certificação do FAA (*Federal Aviation Administration*) para pequenas estruturas em material composto.

As pesquisas para o desenvolvimento de materiais compósitos aumentaram na década de 1980, quando surgiram as matrizes mistas em composto (cerâmicas e metais); porém, somente na década de 1990, que a redução nos custos de matéria prima e a fabricação de peças em material composto tornaram essa tecnologia viável em aplicações estruturais no setor aeronáutico. Nesse sentido, a Fig.1 apresenta a evolução do material composto em relação ao peso estrutural das aeronaves desenvolvidas entre a década de 1980 e atualmente.

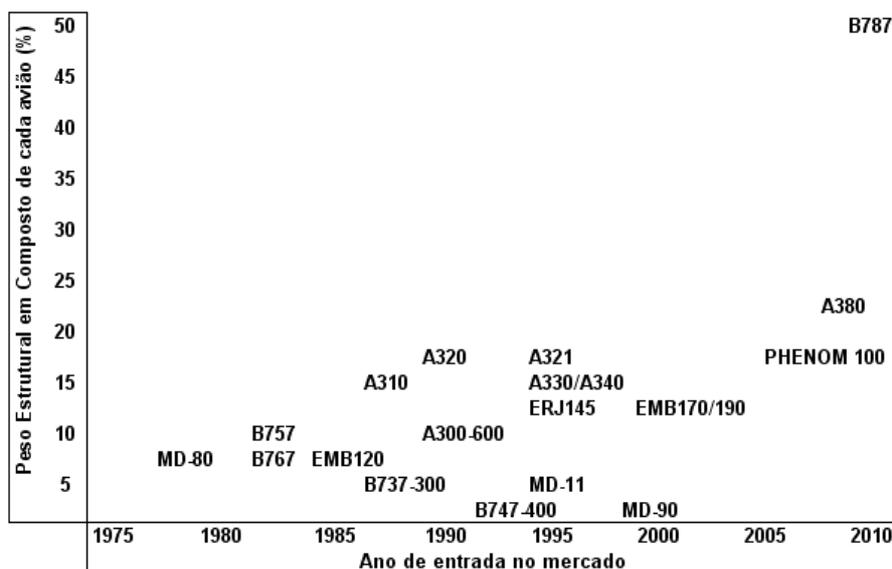


Figura 1- Uso de Composto em Aeronaves Comerciais

Essa evolução produtiva nos segmentos em material composto deve ter acompanhamento da evolução no processo produtivo. Segundo Ohno (1988), um dos idealizadores do Sistema Toyota de Produção (STP), na era de crescimento lento, deve-se minimizar o quanto antes os méritos da produção em massa. Um sistema de produção que busca o aumento do tamanho dos lotes não é adequado. Além de resultar todo o tipo de desperdício, um sistema de produção assim não permite o planejamento e a gestão da produção de forma otimizadas.

### 1.2. Método de Pesquisa

A metodologia usada para alcançar a otimização dos processos deve seguir as etapas abaixo, e que pode ser visualizada na Fig. 2:

- Preparar o mapeamento do processo;
- Modelar o processo atual (cenário *as is*);
- Desenhar um processo ideal (cenário *to be*);
- Executar as melhorias para alcançar o processo desejado (cenário *to do*).

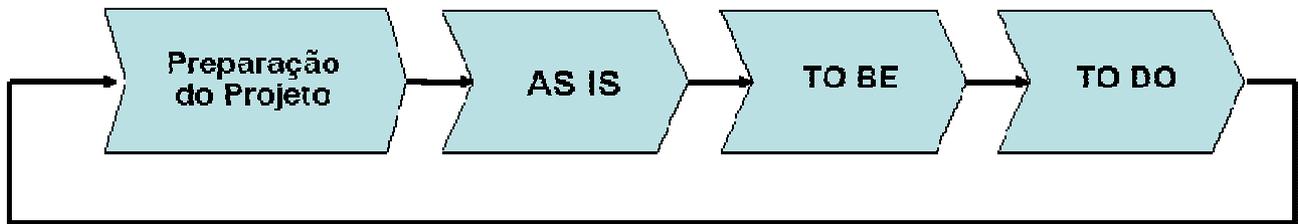


Figura 2 – Método de otimização do projeto

### 1.3. Estrutura do texto

O capítulo introdutório descreve a atual importância do material composto na indústria aeronáutica, justificando uma otimização de processos na tecnologia empregada, com objetivos desafiadores.

O segundo capítulo faz menção aos conceitos inerentes às técnicas sobre o *Lean Manufacturing*, descreve os recursos para a otimização do desenvolvimento do referido processo. E por fim, trata da otimização de processos, apontando para a identificação dos problemas detectados, por meio de um diagnóstico que subsidie a proposta de melhorias a serem implementadas. Já o capítulo três versa sobre a proposta de melhoria definindo um fluxo claro de etapas a serem cumpridas, o capítulo quatro mostra os resultados da implementação parcial do estado futuro e finalmente, o capítulo cinco identifica as conclusões referentes ao trabalho apresentado.

## 2. FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO

A manufatura enxuta tem como objetivo melhorar a qualidade dos produtos, com uma produção de menor custo e tempo. Para isso, a estruturação do Sistema Toyota de Produção (STP) deve possuir estabilidade na produção que pode ser adquirida com um nivelamento de produção, com trabalho padronizado e com melhorias contínuas (*kaizen*, do japonês).

O STP é estruturado sobre dois pilares, quais sejam o *Just in Time* e o *Jidoka* (Autonomação – automação com mãos humanas), e é normalmente representado pela ilustração de uma casa, como pode ser visto na Fig.3.

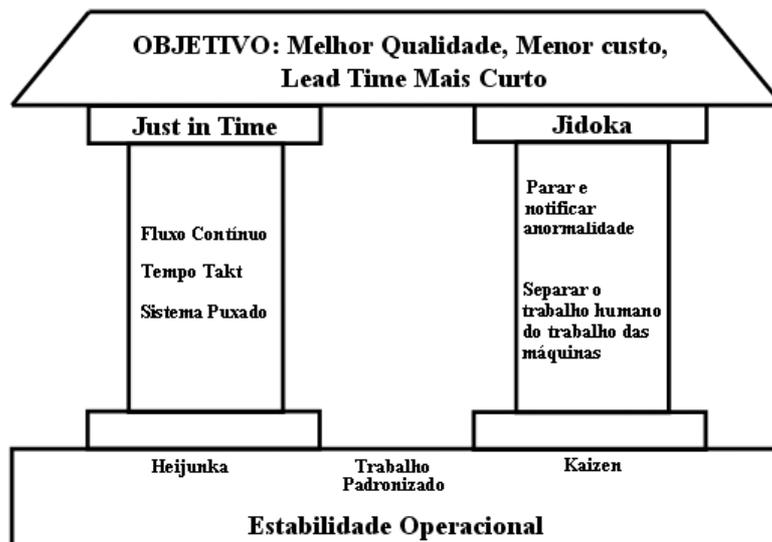


Figura 3 - Casa do Sistema Toyota de Produção

Conforme sinaliza Kilpatrick (2003), os ganhos típicos do uso da manufatura enxuta são:

- Redução no Lead Time em 90%;
- Aumento na produtividade em 50%
- Redução dos inventários em 80%
- Melhoria na qualidade de produto em 80%
- Redução no espaço utilizado em 75%

Segundo Ohno (1988), a principal atribuição da engenharia de produção é a busca pela redução de custos e o aumento da produtividade e, para isto, o método de manufatura deve ser constantemente melhorado.

De acordo com Gonçalves (2000), entende-se o sucesso das empresas japonesas, nas décadas de 80 e 90, devido à importância que elas deram ao gerenciamento de processos, muito antes do que as empresas ocidentais. Por exemplo, é sabido que as empresas industriais japonesas investiram em torno de 70% dos seus fundos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em inovação de processos, ao contrário das americanas que investiram essa mesma proporção, mas no desenvolvimento de produtos.

São descritas a seguir cada uma das etapas referenciadas.

### 2.1. Preparação do mapeamento do processo

A preparação do mapeamento do processo deve ser bem planejada, já que essa etapa conduzirá a modelagem do processo na forma que ela é e permitirá medir os ganhos obtidos com as ações implantadas. As principais formas de preparar o mapeamento dos processos, bem como suas vantagens e desvantagens são mostradas na Tab.1.

Tabela 1 - Formas de Preparar o Mapeamento de Processo

Forma de Modelar	Vantagens	Desvantagens
Workshop	- Permite o envolvimento de um grupo multifuncional que junte clientes e fornecedores - Proporciona maior confiabilidade na informação	- Dificuldade de conciliar horário de todos os envolvidos - Necessita envolvimento de pessoas com know how no assunto
Entrevista	- Possibilita um redirecionamento dos entrevistados e roteiros	- Necessita de disponibilidade de tempo do entrevistador e entrevistado, o que torna um processo lento - Necessita de uma escolha assertiva dos entrevistados
Observação Direta	- Permite o confronto de informações obtidas e a realidade - Incrementa outras metodologias utilizadas para a modelagem	- Pode induzir a erros na modelagem - Permite a omissão de detalhes
Questionário	- Permite a exposição clara de todas ideias, sem constrangimento e reações negativas - Possibilita economia no tempo da coleta dos dados	- Requer uma preparação bem elaborada - Dificulta a coleta de sugestões e críticas

## 2.2. Mapeamento do processo atual (AS IS)

Segundo Rother e Shook (2003), o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta importante devido aos benefícios a seguir especificados:

- Ajuda a visualizar o fluxo produtivo como um todo, para além dos processos individuais;
- Auxilia na identificação dos desperdícios, assim como das suas fontes.
- Torna as decisões sobre o fluxo visíveis; de outra forma, decisões no chão de fábrica só serão tomadas por causa de omissões.
- Agrega conceitos e técnicas enxutas, que podem ajudar a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente.
- Mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material.

O mapeamento do processo pode ser realizado de muitas maneiras distintas, porém é fundamental que esse fluxo seja validado por uma equipe multifuncional que o conheça e esteja atuando nele, visto que a equipe deve visualizar a necessidade de mudanças positivas, e entendê-las para propor melhorias que possibilitem ganhos expressivos.

Para realizar o mapeamento do processo, é recomendada a utilização de abordagens sistemáticas, tais como a cronoanálise e a MTM (*Methods-Time Measurement*).

A cronoanálise possui dois objetivos de trabalho, a saber: o primeiro refere-se à pesquisa de tempos com a decomposição das operações em elementos, bem como a avaliação do ritmo do operador e o segundo é concernente a abordagem detalhada dos movimentos realizados pelo operador em cada operação. Ela usa a cronometragem como ferramenta e apura a medição do tempo real para a indicação do tempo previsto. Ela é uma ferramenta que permite o conhecimento detalhado das atividades, evidenciando pontos passíveis de melhoria.

Segundo a Associação MTM do Brasil (2008), o método MTM (*Methods-Time Measurement*), do português Método de Medição do Tempo consiste em um sistema de movimentos pré-determinados pelo tempo, e foi elaborada nos Estados Unidos, em 1940, quando vídeos de operações realizadas por trabalhadores qualificados na loja *Westinghouse Brake e Signal Corporation* foram filmados com câmeras de velocidades constantes. Esses quadros foram analisados individualmente e os movimentos foram classificados num nível básico, como alcançar, pegar, mover. Essa classificação permitiu constatar, em segundos, um tempo para cada ação gravada, já que uma atividade possui várias ações similares em tempos, que se repetem.

A cronoanálise e a MTM fazem uso da observação direta das atividades para modelar o processo e, a partir dela, pode-se determinar o tempo necessário para cada movimento. O âmbito dessas ferramentas é a análise detalhada da atividade exercida pelo operador no posto de trabalho, identificando a maneira e esforço com que o operador atua.

### 2.3. Mapeamento do fluxo proposto (To BE)

Após o mapeamento do fluxo produtivo atual e identificados todos os pontos de melhorias, torna-se imprescindível modelar o novo fluxo do processo para avaliar os prováveis ganhos esperados. Existem várias maneiras de melhorar o processo, dentre as quais as mais usadas são:

- eliminar atividades que não agregam valor;
- desenvolver e aplicar padrões/procedimentos;
- definir atividades paralelas;
- automatizar etapas do processo.

Para subsidiar a criação do fluxo do processo ideal, podem ser utilizados recursos, tais como: a matriz de deficiências, o diagrama de Ishikawa e a matriz DSM (*Design Structure Matrix*).

#### 2.3.1. Matriz de deficiência

A matriz de deficiência é um método que evidencia os problemas do processo atual e permite a análise e a realização de um diagnóstico dos processos em questão.

A criação dessa matriz deve ser realizada após o mapeamento do processo e com uma equipe multidisciplinar, que deve identificar as deficiências cuja eliminação ou minimização proporcionem os maiores ganhos. A matriz deve indicar a deficiência e seu impacto no processo, a causa do problema, a ação para eliminá-la e o seu responsável.

#### 2.3.2. Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe, foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa que, primeiramente, usou a técnica, na década de 1960, no Japão, para resolver problemas de gestão de qualidade.

O diagrama de Ishikawa consiste na seguinte sistemática: o problema básico de interesse é introduzido na extremidade direita do diagrama (na cabeça do peixe) e as possíveis causas do problema são desenhadas como espinhas. As categorias freqüentemente usadas como ponto de partida incluem materiais, máquinas, mão-de-obra, métodos, meio-ambiente e medição. Então, dirige-se às causas raízes de um problema, ao invés de ficar apenas tratando os sintomas.

#### 2.3.3. Matriz DSM

Segundo Asano (2005), a matriz DSM (*Design Structure Matrix*) foi apresentada pela primeira vez por Steward, em 1967, quando ele trabalhava num projeto de usinas nucleares. Entretanto, o método só passou a ser amplamente usado na década de 1990, após o lançamento do livro de Steward, em 1981, e o desenvolvimento de um trabalho no MIT (Massachusetts Institute of Technology), em 1992. Por meio desse trabalho, o conceito de DSM foi introduzido em diversas empresas do ramo aeroespacial, dentre as quais cabe destacar a Lockheed e a Boeing.

A ferramenta em destaque possui tanto características aplicáveis a gerenciamento de projetos quanto à análise de processos. O DSM permite representar de forma clara o fluxo de informação, possibilitando a visualização das iterações, interdependência e paralelismo entre as atividades, como pode ser visto na Fig.4.

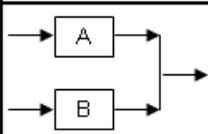
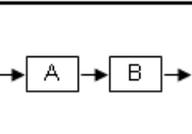
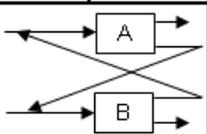
Possíveis Configurações do Sistema																														
Representação	Paralelo	Serial	Interdependentes																											
Gráfica																														
Matriz DSM	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td></td><td>A</td><td>A</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>		A	A	A			B			<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td></td><td>A</td><td>A</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>x</td><td></td></tr> </table>		A	A	A			B	x		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td></td><td>A</td><td>A</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>B</td><td>x</td><td></td></tr> </table>		A	A	A		x	B	x	
	A	A																												
A																														
B																														
	A	A																												
A																														
B	x																													
	A	A																												
A		x																												
B	x																													

Figura 4 - Configurações dos sistemas da Matriz DSM

Conforme Eppinger (2001), a primeira etapa para elaborar a matriz DSM é listar todas as atividades requeridas pelo processo, identificar as entradas e saídas e suas dependências. Posteriormente, deve-se montar a matriz conforme exemplo da Fig. 5, tendo em vista que as atividades marcadas com x nas linhas recebem informações das colunas (entrada de informações) e as atividades marcadas com x nas colunas fornecem informação para as linhas (saída de informações).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	.									
B	X	.					X			X
C	X		.							
D	X		X	.						
E		X	X		.		X		X	
F			X			.				
G							X	.		X
H		X		X					.	X
I	X		X	X	X		X		.	
J	X	X	X	X		X				.

Figura 5 - Exemplo de aplicação da Matriz DSM

No exemplo da Figura 5 pode-se detectar, pela linha B, que a tarefa B precisa de informação das tarefas A, G e J, como também pela coluna B é possível identificar que a tarefa B fornece informação às tarefas E, H e J.

Todos os 'x's localizados abaixo da diagonal principal representam trocas de informações do tipo *feedforward*, isto é, as informações de atividades anteriores estão disponíveis para as atividades futuras. Porém, os 'x's acima da diagonal principal correspondem a um fluxo de informações do tipo *feedback* e, nesse caso, informações provenientes de atividades subsequentes podem acarretar em retrabalho da atividade anterior.

O primeiro passo para otimizar o processo é determinar quais atividades podem ser eliminadas, ou agrupadas em apenas uma etapa e, finalmente, deve-se trazer para baixo da diagonal principal, da matriz DSM, o maior número de marcações 'x' localizadas acima dela. Ou seja, uma diferente seqüência de tarefas pode reduzir o número de iterações do tipo *feedback* e eliminar os possíveis retrabalhos.

#### 2.4. Implantação do estado desejado (TO DO)

O processo deverá ser implantado buscando, continuamente, atingir o aperfeiçoamento esperado, por meio da eliminação de desperdícios, o que leva à redução de ciclos de produção, minimizando os custos e otimizando os resultados alcançados.

O Kaizen preza a prática de melhoria contínua do processo para a busca da excelência empresarial e, para isso, faz-se necessário desenvolver os cinco princípios do *Lean Manufacturing* (valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e busca da perfeição), e eliminar os 7 desperdícios identificados por Ohno mostrados abaixo:

- Superprodução: é produzir a mais sem que o cliente final tenha demandado, sendo que tal desperdício contribui para ocorrência dos outros seis
- Tempo de espera: ocorre quando o operador não possui condições de trabalhar, como por falta de material, informação ou equipamentos
- Transporte: movimentação desnecessária de produtos ou peças, tais como a ida para um estoque ou almoxarifado, quando a próxima etapa do processo poderia ser realizada próxima da anterior
- Processamento em excesso: geralmente é realizado por causa de retrabalho ou devido a um projeto, ou processo mal elaborado.
- Estoque: em geral, é resultado da superprodução. Esse é um dos piores desperdícios, já que esconde as causas dos desperdícios que deveriam ser remediados, como desbalanceamento entre trabalhadores e processos, problemas entre processos, excesso de mão-de-obra, excesso de equipamentos e falta de manutenção preventiva
- Movimentação desnecessária: é causada, ou por um fluxo de trabalho mal elaborado, ou por um posto de trabalho deficiente, ou ainda, por um método mal especificado

- Defeito em um produto: gera retrabalho, ou pior, o produto pode ser rejeitado. Esse desperdício pode ser gerenciado com um controle da causa-raiz.

Segundo Kilpatrick (2003), a primeira ação que deve ser tomada em uma empresa que está implementando o *Lean Manufacturing* é a organização do espaço de trabalho e os conceitos 5 Ss. Essa prática evita desperdícios como a procura de ferramentas ou materiais.

De acordo com Feld (2000), a maioria das pessoas subestima a importância da segurança, ordem e limpeza no local de trabalho, sendo que entre 25% e 30% de todos os defeitos de qualidade estão diretamente relacionados ao mencionado problema.

Ao final, é primordial a padronização das atividades mapeadas para o cumprimento das metas estabelecidas ao final do mapeamento do estado ideal.

### 3. PROPOSTA DE MELHORIA

O trabalho possui como principais objetivos:

- Criar um processo que permita aderir flexibilidade produtiva no produto estudado;
- Elaborar o mapeamento do processo, visando à obtenção de subsídios para operacionalização de um estado ideal futuro estudar e aplicar métodos voltados para a robustez e flexibilidade do processo;
- Detectar as problemáticas durante a realização do processo e executar os procedimentos necessários para que sejam sanadas;
- Garantir a otimização do processo, de forma a eliminar desperdícios e reduzir em 70% o tempo de ciclo do produto e instituir a padronização de informações aplicados.

O fluxo da Fig.6 apresenta as etapas de otimização do processo proposto e como usar as ferramentas que foram mostradas no capítulo anterior.

A importância de um fluxo de trabalho bem definido e uma equipe multifuncional engajada é bem clara nesse trabalho, já que isso possibilita identificar, a todo momento, o status do projeto como um todo e o responsável por cada atividade, da mesma forma que possibilita estipular meta para cada ação com um cronograma acordado pela equipe.

Após a execução de uma iteração de todas essas atividades, é importante identificar os pontos em que não são constatados ganhos e tentar tratá-los com a mesma sistemática aplicada, repetindo, dessa forma, o ciclo de melhoria contínua.

## Engenharia de Produção

## Equipe Multidisciplinar

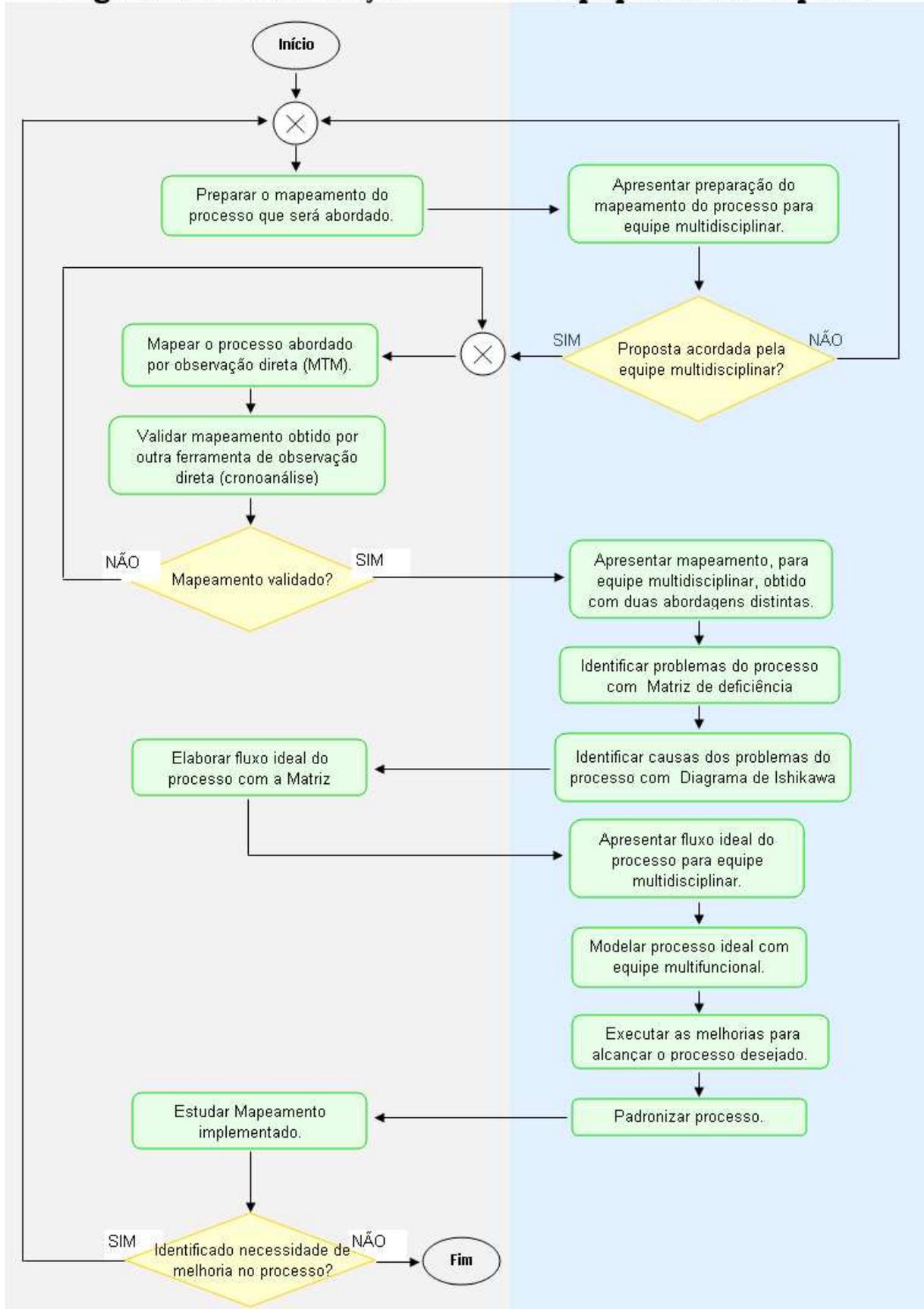


Figura 6 - Fluxo das etapas de otimização do processo.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Após a validação das informações concernentes ao processo de material composto e a validação da informação para elaboração do mapeamento do processo ideal, foram identificadas várias oportunidades de ganhos em todo o processo, porém, o foco deste trabalho foi o de identificar pontos que não agregam valor ao Material Composto, por ser tratar de uma área que possui recursos restritivos de capacidade, e minimiza-los, ou elimina-los quando possível, usando a metodologia aqui descrita. Dessa forma, a aplicação dos conceitos inerentes a ele poderá ser multiplicada por todos os processos da área abordada e padronizada.

Esse desenvolvimento proporcionou um ganho de aproximadamente 70% na produtividade, sendo que as principais atividades foram:

- Criação de kits e redução dos set-up, o qual proporcionou um ganho de aproximadamente 18% no tempo de ciclo de produção.
- Detalhamento do processo, criação de um fluxo de atividades bem definidas e elaboração de ferramentas específicas para a célula, o que permitiu um ganho de 12% no tempo de ciclo de produção e redução na não-conformidade.
- Não aceitar o produto sem conformidade, evitando o retrabalho na área foi responsável por um ganho de aproximadamente 11% no tempo de ciclo de produção.

#### 5. CONCLUSÕES

A aplicação dos conceitos do *Lean Manufacturing* ensejaram os ganhos de produtividade preliminares são animadores, tendo em vista que ações simples e sem desprendimento de recursos mais elaborados possibilitaram um ganho de aproximadamente 70% no tempo de ciclo desse desenvolvimento.

O método apresentado pela Fig.6 permitiu um mapeamento detalhado da situação inicial (*as is*), identificando os problemas pertinentes a eles e suas tratativas.

O desenvolvimento do processo deve ser priorizado sobre a concepção do produto e, nesse contexto, merece ênfase o gerenciamento empreendido, a fim de se chegar a uma produção de menor custo e tempo. Para eliminar completamente os defeitos, torna-se relevante, além de um projeto bem elaborado, atuar junto à execução, a fim de evitar o processamento sob condições anormais.

Por fim, para assegurar a robustez do processo foi fundamental a sua padronização para tornar possível o início de um novo ciclo de estudo, viabilizando a cultura da melhoria contínua.

#### 6. REFERÊNCIAS

NIU, Michael ChunYu. *Composite Airframe Structures*. Hardcover. May 1, 2005

OHNO, Taiichi. *O sistema Toyota de produção Além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1988.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. *Léxico Lean. Glossário Ilustrativo para praticantes do Pensamento Lean*. 2. ed. 2007

KILPATRICK, Jerry. *Lean Principles*. In: Utah Manufacturing Extension Partnership, 2003

GONÇALVES, J. E. L. As Empresas são grandes coleções de processos. *RAE Revista de Administração de Empresas*, v.40, n.1, Jan./Mar. 2000.

ROTHER; Mike; SHOOK, John. *Aprendendo a enxergar, mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*, 2003.

ASSOCIAÇÃO MTM DO BRASIL. *Apostila do curso de processos básicos UAS*, 2008.

ASANO, Cesar Rafael. Modelagem e Simulação do Processo de Definição de Configuração de Layout de uma Aeronave Comercial. 2005. 105 folhas. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

EPPINGER, Steven D. Matriz DSM - Innovation at the speed of information. Harvard Business School Publishing Corporation, 2001.

FELD, W. M.; Lean Manufacturing. Tools, techniques and how to use them. 2000

## **7. RESPONSABILIDADE AUTORAL**

Esse material possui informações de única responsabilidade dos autores e essas informações só poderão ser reproduzidas desde que:

1. Seja mencionada a fonte;
2. Seja dado conhecimento aos autores.

João Marcos Gomes de Mello e Luis Gonzaga Trabasso