



Engenharia de Produção

**INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SOB A ÓTICA DA
INDÚSTRIA 4.0**

**Aline Queiroz Pereira
Douglas Aparecido Santana
Lucas Giovanelli Frederico
Rômulo Augusto da Silva**

**Itatiba
2016**



Curso de Engenharia de Produção – Itatiba

ATA DE ARGUIÇÃO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 06 dias do mês de dezembro de 2016 realizou-se a sessão pública de defesa da monografia intitulada:

Integração de Informações no Processo de Desenvolvimento de Produto sob a ótica da indústria 4.0

apresentada pelos alunos:

Aline Quiróz Pereira; Douglas Aparecido Santana; Lucas Giovanni Frederico; Rômulo Augusto da Silva

Os trabalhos foram iniciados às 20 h pelo professor orientador da monografia e presidente da banca:

Elaine Cristina Marques

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição dos candidatos. Encerrados os trabalhos de arguição às 20:40 horas, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e arguição oral dos candidatos.

Levando-se em conta os pesos 1,0 para a Monografia e 2,0 para a Apresentação Oral, a média final do trabalho é para cada um dos alunos é:

Aluno	Média das Notas da Monografia	Média das Notas de Apresentação Oral e Arguição	Nota Final
<u>Aline Quiróz Pereira</u>	<u>10,0</u>	<u>9,6</u>	<u>9,7</u>
<u>Douglas Aparecido Santana</u>	<u>10,0</u>	<u>9,6</u>	<u>9,7</u>
<u>Lucas Giovanni Frederico</u>	<u>10,0</u>	<u>9,6</u>	<u>9,7</u>
<u>Rômulo Augusto da Silva</u>	<u>10,0</u>	<u>9,6</u>	<u>9,7</u>

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos.

Elaine C. Marques
Presidente da banca - Elaine C. Marques

Vânia F. Vieira
Membro da banca - Vânia F. Vieira

Marcelo G. Zeloto
Membro da banca - MARCELO G. Zeloto

Itatiba, 06 de dezembro de 2016.



Engenharia de Produção

INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SOB A ÓTICA DA INDÚSTRIA 4.0

Aline Queiroz Pereira

RA: 002201200352

Douglas Aparecido Santana

RA: 002201200252

Lucas Giovanelli Frederico

RA: 002201200640

Rômulo Augusto da Silva

RA: 002201401334

Monografia apresentada à banca examinadora do Curso de Engenharia de Produção da Universidade São Francisco, sob a orientação da Profa. Dra. Elaine Cristina Marques, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Prof(a). orientador(a) do Trabalho de Graduação: Elaine Cristina Marques

Itatiba

2016

AGRADECIMENTOS

Considerando esta monografia como resultado do início de uma caminhada ainda sem ponto final em busca do conhecimento, agradecemos por não ter sido uma tarefa fácil, nem justa. Afinal é dos momentos difíceis que aprendemos as melhores e mais marcantes lições de vida.

Agradecemos a Deus, nossa fortaleza nos tempos de angustias e pela perseverança dada na medida certa e no tempo certo a fim de que pudéssemos concluir estes cinco anos de muito estudo e dedicação.

Aos nossos familiares por se tratar dos nossos pivôs, a estrutura física e emocional que possuímos. Que ricos em sabedoria souberam nos incentivar e a nunca desistir frente às situações adversas que enfrentamos.

Aos nossos cônjuges pela paciência e entendimento da importância desta etapa para as nossas vidas.

A nossa professora, coordenadora e orientadora Elaine que pôde fazer parte de todo este ciclo, lecionando matérias da grade curricular, empenhando em melhorias contínuas para o curso e esculpindo nossas ideias para que pudéssemos redigir este trabalho.

A todos os nossos professores e colegas, pois foi um prazer inenarrável poder compartilhar experiências vividas nas esferas acadêmicas e pessoais.

RESUMO

Os conceitos de Indústria 4.0, Fábrica do futuro ou 4ª Revolução Industrial que começaram a ser difundidos recentemente por empresas e governos, tem base na filosofia da produção enxuta originada no Japão, uma vez que a eficácia na integração entre processos e informações, tem como premissa, a eliminação dos desperdícios. A maior parte da aplicação desses conceitos tem sido voltada a processos fabris, porém já existem diversos estudos direcionados a processos administrativos, já que os mesmos são parte importante no desenvolvimento dos negócios. É nesse sentido que o presente trabalho foi realizado, com o objetivo de introduzir o conceito da Indústria 4.0 no processo de desenvolvimento do produto de uma empresa de engenharia e eletrônica, destacando o fluxo de informações do processo. Para tanto, o processo de desenvolvimento do produto da empresa foi mapeado e analisado através de conceitos e técnicas da engenharia de produção, tais como: *Lean Office*, BPM (*Business Process Management*) e DSM (*Design Structure Matrix*), além dos conhecimentos acadêmicos em desenvolvimento do produto, que foram essenciais para um melhor entendimento do processo analisado. Após a aplicação das ferramentas selecionadas para a realização do trabalho, foi possível propor a integração de documentos e softwares utilizados durante o processo de desenvolvimento do produto da empresa, eliminando uma série de desperdícios e apresentando ganhos através de simulação de uma nova estrutura no fluxo de informações. Além da proposta que resultará em um ganho financeiro de R\$ 76.957,44 por ano para a empresa em questão e o desenvolvimento de uma metodologia para análise e integração de documentos e *softwares*, é importante ressaltar a possibilidade que o trabalho trouxe, de introduzir o debate sobre a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 em processos administrativos, oferecendo assim, uma contribuição em direção à 4ª revolução industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0, Produção Enxuta, Desenvolvimento de produtos, BPM, DSM.

ABSTRACT

The concepts of Industry 4.0, future factory or the 4th Industrial Revolution that began to be recently disseminated by companies and governments, are based on the philosophy of lean production originated in Japan, since the effectiveness of the integration of processes and information, is premised on the elimination of waste. Most of the application of these concepts has been focused on the manufacturing processes, but there are several studies directed to administrative processes, as they are important in the development of business. In this sense, the present study was performed in order to introduce the concept of Industry 4.0 in the product development process of an engineering company and electronics, highlighting the flow of information of process. Thus, the development process of the company's product has been mapped and analyzed through the concepts and techniques of production engineering, such as: Lean Office, BPM (Business Process Management) and DSM (Design Structure Matrix), in addition to academic knowledge of product development, which were essential to a better understanding of the reporting process. After application of selected tools to carry out the work, it was possible to propose the integration of documents and software used during the development process of the company's product, eliminating a lot of waste and presenting earnings through simulation of a new structure in the flow information. Besides the proposal that will result in a financial gain of BRL 76,957.44 per year for the company in question, and the development of a methodology for analyzing and integrating documents and software, it is important to point out the possibility that the work brought to introduce the debate on the application of the concepts of Industry 4.0 in administrative processes, thus offering a contribution towards the 4th industrial revolution.

KEYWORDS: 4.0 Industry, Lean Production, Product Development, BPM, DSM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os quatro estágios da Revolução Industrial.....	12
Figura 2 - Modelo 3 MUs.	14
Figura 3 - Sete principais desperdícios dos sistemas produtivos.	16
Figura 4 - Estrutura financeira de empresa com e sem o pensamento enxuto.	18
Figura 5 - Desperdícios mais comuns no escritório.....	21
Figura 6 - Os nove pilares da Indústria 4.0.	24
Figura 7 - Processo de Desenvolvimento de Produto.	31
Figura 8 – Custos e benefícios nas diferentes fases do PDP.....	33
Figura 9 - Processo de Desenvolvimento do Produto voltado para as atividades de engenharia.....	35
Figura 10 – DSM Binário.....	38
Figura 11– DSM numérico representado através de cores.	38
Figura 12 – DSM numérico representado através de números “Pesos”	38
Figura 13 - Abordagem da DSM e o seu ciclo.....	40
Figura 14 - Fluxo de informação entre participantes.	42
Figura 15 - Matriz do projeto.	43
Figura 16 - Matriz do projeto após <i>clustering</i>	43
Figura 17 - Ciclo BPM.....	46
Figura 18 - Simples processo BPMN.	47
Figura 19 – Pool e lanes.	49
Figura 20 – Planilha original disponibilizada pelo site DSMweb.org.	51
Figura 21 – Etapas para o desenvolvimento do trabalho.	52
Figura 22 – Níveis de maturidade de processos de desenvolvimento.....	54
Figura 23 – Níveis do processo de desenvolvimento do produto.	55
Figura 24 – Matriz para análise das ferramentas.	56
Figura 25 – Exemplificação da matriz.	56
Figura 26 – Classificação das ferramentas.	57
Figura 27 – Mapeamento do processo atual.	59
Figura 28 – Desperdícios do fluxo de informação.	59
Figura 29 – DSM.....	61
Figura 30 – Mapeamento do Estado Atual.	64
Figura 31 - 5 Maiores Consumidores do Tempo Total.	66
Figura 32 – Proposta Estado Futuro.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre os princípios do pensamento enxuto da manufatura e no escritório.....	19
Tabela 2 - Representação Gráfica do Fluxo de Informação.....	39
Tabela 3 - Elementos básicos do fluxo de objetos.....	48
Tabela 4 - Ligações de fluxo de objeto.....	48
Tabela 5 – Detalhamento dos blocos de agrupamento.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
	1.2 Justificativa	10
	1.3 Objetivo	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
	2.1 Pensamento enxuto	12
	2.1.1 Contexto Histórico	12
	2.1.2 Fundamentos da produção enxuta	13
	2.1.3 Escritório enxuto	18
	2.1.4 Pensamento enxuto e indústria 4.0	22
	2.2 Indústria 4.0	23
	2.3 Processo de Desenvolvimento do Produto	30
	2.4 <i>Design Structure Matrix</i> (DSM)	35
	2.5 <i>Business Process Management</i> (BPM)	44
	2.5.1 Ciclo de Vida do BPM	45
	2.5.2 BPMN	46
	2.5.3 Linguagem BPMN	47
	2.5.3 <i>Softwares</i> Disponíveis	49
3	METODOLOGIA	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
	4.1 Levantamento das ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento do produto	53
	4.2 Análise e Diagnóstico do Processo	57
	4.3 Mapeamento do fluxo de informações processo atual	58
	4.4 Elaboração da DSM	60
	4.5 Análise da DSM	62
	4.6 Mapeamento e simulação do estado atual do processo	63
	4.7 Arquitetura e simulação do processo futuro	66

	4.8 Análise de ganhos	68
5	CONCLUSÃO	69
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia possibilita que as empresas se tornem mais competitivas a medida que consigam adaptar seus processos, por meio de ferramentas tecnológicas, fazendo com que suas operações sejam mais eficientes, ágeis, confiáveis e fáceis.

Empresas que conseguem se adaptar a um ritmo rápido de mudanças no mundo, cada vez mais conectado e com enormes fontes de dados a serem analisados, desfrutam de uma oportunidade, sem precedentes, de acelerar e gerar inovação, atender às elevadas expectativas de clientes, cada vez mais exigentes, e ganhar vantagem de mercado.

A expressão atual que incorpora essas mudanças no mundo organizacional é denominada Indústria 4.0. O termo se refere a uma revolução tecnológica, desencadeada, principalmente, pela entrada da internet em processos industriais, com o objetivo de garantir a conectividade e integração entre itens utilizados diariamente nas empresas como máquinas, *softwares* e banco de dados. A ideia é que, com o passar do tempo, os mundos físico e digital se unam, através de dispositivos inteligentes que se entendam, interajam entre si, e possam reagir ao ambiente externo.

A quarta revolução industrial, como também é chamada, é considerada uma quebra de paradigma dos atuais modelos organizacionais. Para usar todo o potencial do emprego de novas tecnologias para integrar máquinas e pessoas, de forma autônoma, em cadeias valor ao logo de toda a cadeia de processos, é necessária uma ruptura dos métodos tradicionais de concepção e análise de sistemas de controle e, conseqüentemente, novas técnicas de modelagem de sistemas devem ser consideradas (KOLBERG E ZÜHLKE, 2015).

Assim, para a obtenção do sucesso em um mundo definido pela Internet das Coisas (IoT, *Internet of Things*, do inglês), as empresas devem reexaminar seu negócio como um todo, revitalizando seus próprios processos e sistemas, tanto produtivos, como administrativos. Ferramentas e conceitos da engenharia e administração, tais como BPM (*Business Process Modeling*, do inglês), *Lean Manufacturing* e DSM (*Design Structure Matrix*, do inglês), são primordiais para dar suporte às mudanças necessárias na implementação da Indústria 4.0, auxiliando na integração e aplicação de sistemas de produção e de informação.

1.2 Justificativa

Muitos processos administrativos dentro das organizações tendem a ser baseados em sistemas complexos, dificultando a possibilidade de realização de melhorias, já que são organizados em estruturas intrincadas de documentação e informações.

A descrição acima se enquadra no processo de desenvolvimento do produto da empresa estudada, que por ser fundamentado em um sistema antigo e sólido, possui um fluxo de informações abstruso, não sendo possível ter uma visão clara e sistêmica do processo sem a realização de um mapeamento avançado.

O processo de desenvolvimento do produto, apesar de administrativo, é extremamente relevante para um primeiro estágio de implementação da indústria 4.0. A situação atual na empresa em questão indica a possibilidade de um estudo para que, utilizando ferramentas que se enquadram na área classificada pela ABEPRO (2008) como Engenharia Organizacional e nas subáreas de Gestão Estratégica e Organizacional, Gestão da Informação e Gestão da Inovação, possa ser proposta uma solução que torne esse processo mais enxuto e integrado sob o conceito da quarta revolução industrial.

1.3 Objetivo

O presente trabalho tem o objetivo de introduzir o conceito da Indústria 4.0 no processo de desenvolvimento do produto de uma empresa de engenharia e eletrônica, mapeando parte desse processo e após análises, demonstrar os possíveis ganhos com a instalação de uma nova estrutura no fluxo de informações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A industrialização começou com o aperfeiçoamento da máquina de vapor por James Watt, na Inglaterra, em meados do século 18, revolucionando a indústria têxtil, substituindo o ser humano em atividades repetitivas ou que exigiam grande esforço. Já no início do século XX, o desenvolvimento industrial pós-guerra, e, concomitantemente a isso, a introdução da energia elétrica, trouxeram consigo novos métodos de produção, popularizando os produtos para que o povo pudesse adquiri-los (KAGERMAN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

Ao longo deste período de cerca de 60 anos, o avanço tecnológico se intensificou, e, a partir da década de 70, se inicia a terceira revolução industrial que perdura até os dias atuais. A introdução dos computadores, da biotecnologia, microeletrônica e informática nas indústrias caracteriza esta revolução como tecnocientífica, permitindo a flexibilização da produção e sua maior eficiência (KAGERMAN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

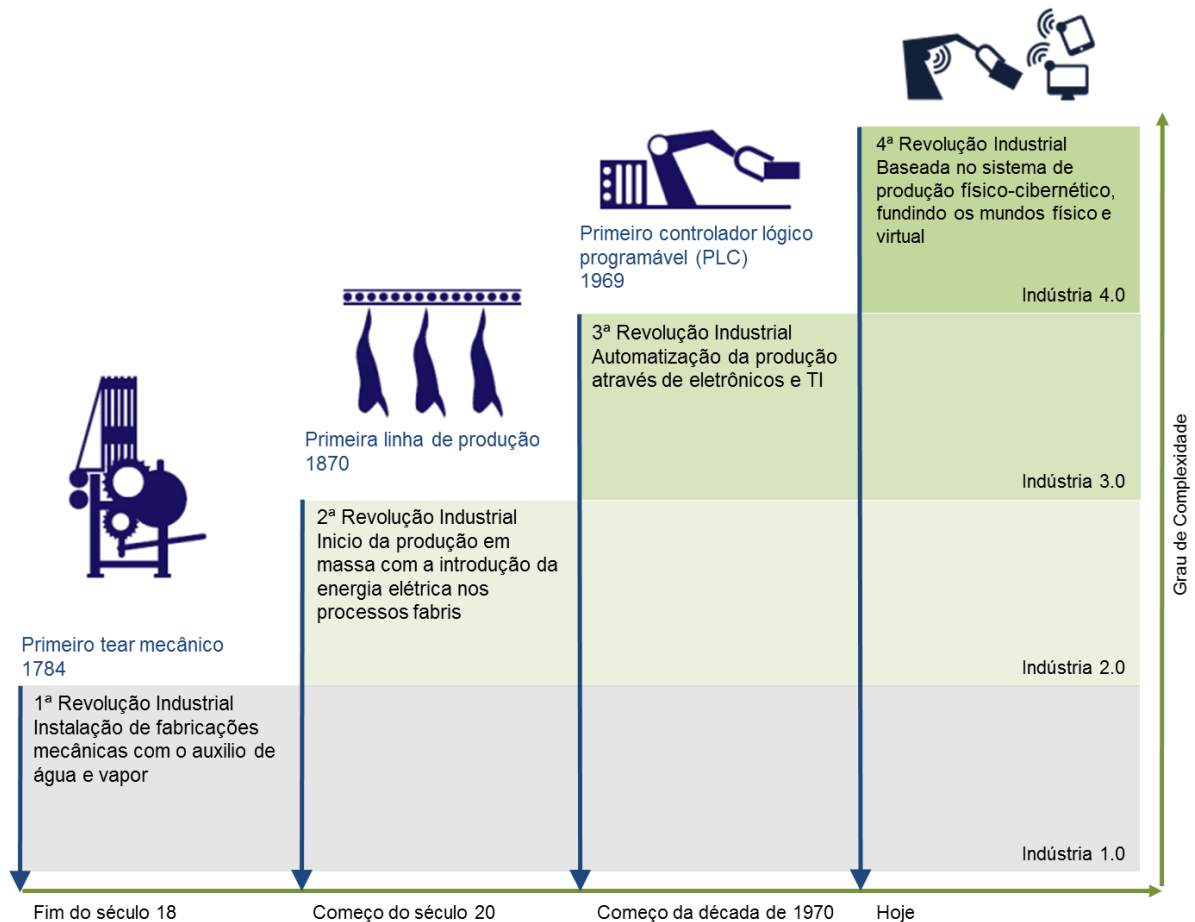
Nesses 40 anos de revolução, o aumento do emprego de aparelhos eletrônicos e da Tecnologia da Informação (TI) permitiram a era da automação em processos de manufatura, conforme as máquinas assumem proporções substanciais de trabalhos manuais, e mais recentemente, “atividades pensantes”. Inaugurando, então, uma nova era, ainda em transição, a quarta revolução industrial (KAGERMAN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

A Indústria 4.0, como também é conhecida, se refere a uma nova fase de desenvolvimento das organizações e gerenciamento de toda a cadeia de valor e todas as unidades de negócio dentro da empresa (KAGERMAN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

A expressão, Indústria 4.0, é amplamente utilizada na Europa, principalmente na Alemanha. Nos Estados Unidos e outros países que utilizam o idioma Inglês, o termo Internet das Coisas, ou até mesmo Internet Industrial, são mais utilizados (DELOITTE, 2015).

Todas essas nomenclaturas variantes reconhecem que os tradicionais métodos de produção estão passando por uma transformação digital. Há algum tempo, processos industriais têm incorporado a tecnologia de informação, mas as atuais tendências vão além da simples automação da produção observadas a partir de 1970 (DELOITTE, 2015) (Figura 1).

Figura 1 - Os quatro estágios da Revolução Industrial.



(Fonte: Adaptado de PLATFORM INDUSTRY 4.0, 2013)

2.1 Pensamento enxuto

2.1.1 Contexto Histórico

Em um cenário de aumento da produção de bens manufaturados através do surgimento de grandes indústrias, manifesta-se a necessidade de métodos para a organização dos processos produtivos.

É nesse contexto que o engenheiro Frederich Winslow Taylor escreve o livro intitulado como “Princípios da Administração Científica”, apresentando técnicas de racionalização da produção que somadas com a mecanização da manufatura fizeram com que o fundador da *Ford Motor Company*, Henry Ford, criasse o sistema de produção denominado fordismo (MAURICI, 2007).

O sistema de Ford caracterizou-se pela produção em massa de produtos padronizados, ou seja, produção de grandes lotes de um único produto. Apesar de eficiente para a época, esse sistema entrou em declínio quando o mercado passou a exigir a entrega

de pequenas quantidades de produtos variados, exigência que vinha contra os princípios do sistema de produção fordista (OHNO, 1997).

Após a segunda guerra mundial, visualizando e vivenciando as novas restrições do mercado em um período de dificuldade para a indústria japonesa, o então diretor da Toyota Motor Company, Taiichi Ohno, apresentou um sistema de produção capaz de produzir com baixos custos, pequenas quantidades de modelos variados de automóveis. Esse sistema tinha o objetivo de fazer com que a indústria automotiva japonesa pudesse se estabelecer competindo com os fabricantes de automóveis europeus e estadunidenses (OHNO, 1997).

Apesar de ter sido implementado logo após a guerra, o sistema só foi difundido pelo mundo após a crise do petróleo de 1973, quando, apesar da recessão mundial e a estagnação do crescimento da economia japonesa, a Toyota conseguiu se destacar com a apresentação de maiores ganhos em relação às outras empresas (OHNO, 1997).

Denominações como “Sistema Toyota de Produção” (STP) e “Manufatura Enxuta” (*Lean Manufacturing*) são conhecidas para referenciar o sistema concebido pela Toyota, sendo que o termo “Manufatura Enxuta” só foi apresentado em 1992, na publicação do livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK, JONES e ROOS, 1992), resultado de uma pesquisa do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) para comprovar a eficiência do Sistema Toyota de Produção e propagar a importância do pensamento enxuto para o cenário industrial e corporativo (ROSSITTI, 2014).

2.1.2 Fundamentos da produção enxuta

Para a eficácia da produção enxuta, desenvolveu-se a utilização de um modelo conhecido como três “MUs”. Essa denominação tem origem nas palavras japonesas *muda*, *mura* e *muri*. *Muda* significa desperdício, *mura*, variação e *muri*, tensão ou sobrecarga, sendo que ambos os conceitos devem ser eliminados para o desenvolvimento de um processo enxuto (IMAI, 2014).

Variações ou *muras* são inerentes a todo processo assistido na natureza, no entanto, variações significativas e constantes podem diminuir expressivamente a produtividade de um sistema de produção, portanto, procurar eliminar essas variações no contexto dos processos ou dos produtos dos processos é fundamental para o bom andamento do fluxo produtivo e o desenvolvimento de melhorias (IMAI, 2014).

Condições de tensão ou sobrecarga tanto em recursos materiais como em recursos humanos são exemplos de ocorrências de *muris* nos sistemas produtivos, provocando descontentamento por parte dos trabalhadores, quebras e paradas nos equipamentos e

prejudicando assim, a qualidade dos processos e conseqüentemente gerando insatisfação aos clientes (IMAI, 2014). A Figura 2 ilustra a interação entre os três "MUs".

Figura 2 - Modelo 3 MUs.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

A eliminação dos desperdícios ou *mudas* é a ação mais simples e eficiente para iniciar a aplicação do pensamento enxuto em um sistema, dado que os *mudas* são facilmente identificados tanto em processos administrativos como em processos industriais e por elidir o que não agrega valor na visão dos clientes é fundamental para maximizar os ganhos das organizações (IMAI, 2014). Esquadrinhando apenas os processos produtivos, Taiichi Ohno (1997) elencou os sete principais desperdícios nas indústrias, sendo eles: desperdício de superprodução, desperdício com tempo de espera, desperdício em transporte, desperdício em processamento, desperdício com estoques, desperdício com movimentação e desperdício com a fabricação de produtos defeituosos.

Ghinato (2000) explica cada um desses desperdícios, conforme a seguir:

- 1- Desperdício de superprodução: de todos os sete desperdícios, o principal deles é o de superprodução, pois o mesmo tende a esconder as outras perdas, sendo o desperdício mais difícil de ser eliminado. A superprodução pode ser de dois tipos: superprodução por produzir quantidades maiores que as necessárias e superprodução por produzir antecipadamente.
- 2- Desperdício com tempo de espera: a perda por espera é caracterizada pelo tempo em que durante o fluxo de produção, o lote não é submetido a nenhum processamento, transporte ou inspeção, podendo ser classificado por:
 - Espera no processo: quando máquinas, dispositivos ou mão de obra estão indisponíveis para processar o lote.

- Espera do lote: quando apenas o lote inteiro passa para a operação seguinte, fazendo com que cada peça seja submetida a uma espera até que o lote inteiro seja processado.
 - Espera do operador: ociosidade da mão de obra disponível durante o processo, ocasionada pelo desbalanceamento das operações ou por processos onde o operador é obrigado a monitorar todo o processamento.
- 3- Desperdício em transporte: relacionado com a movimentação de materiais, essa perda pode ser reduzida ou eliminada com alterações de *layout* e com projetos de implementação de esteiras, pontes rolantes, transportadores aéreos, etc.
 - 4- Desperdício em processamento: diz respeito a partes do processamento que poderiam ser excluídas sem afetar a qualidade do produto final ou a um processamento que se encontra abaixo da condição ideal.
 - 5- Desperdício com estoques: estritamente vinculado ao desperdício de superprodução, os estoques também tendem a ocultar os problemas da produção, dificultando a identificação desses problemas para que seja possível a realização das melhorias necessárias.
 - 6- Desperdício com movimentação: relacionada com a movimentação desnecessária dos operadores, a perda por movimentação é reduzida com a racionalização do trabalho e a implementação de melhorias após análises e estudos de tempos e métodos.
 - 7- Desperdício com a fabricação de produtos defeituosos: o sistema de produção enxuta defende a eliminação das fontes que ocasionam os problemas de produtos com características de qualidade fora do estabelecido pelos clientes ou pelas normas regulamentadoras e/ou de padronização, considerando um grave desperdício a produção de produtos não conforme.

Atualmente, além dos sete desperdícios originais do STP, profissionais da indústria e acadêmicos citam um oitavo desperdício que diz respeito ao capital humano ou a má utilização do mesmo, isto é, quando as pessoas não são envolvidas nos projetos de melhorias ou em atividades estratégicas, fazendo com que haja um desperdício excessivo de pensamentos e ideias.

A Figura 3 apresenta a esquematização dos 7 desperdícios, deixando em evidência a superprodução que é o principal desperdício dentro do STP.

Figura 3 - Sete principais desperdícios dos sistemas produtivos.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Constituindo um senso de aumentar a produtividade utilizando uma quantidade cada vez menor de recursos, o pensamento enxuto é o fator significativo para a eliminação dos desperdícios nas organizações (WOMACK e JONES, 1998).

Demonstrando a importância do pensamento enxuto, Womack e Jones (1998) elencaram cinco princípios para a implementação dessa mentalidade, excedendo o domínio das atividades fabris de modo a possibilitar a aplicação da filosofia nos mais variados processos e empresas. Os princípios apresentados são:

- 1- Especificação do valor: definir o valor do produto é a etapa inicial para o pensamento enxuto. O produto que pode ser um bem, um serviço ou ambos, deve ter seu valor determinado pelo cliente final, isto é, ele deve ser somente e exatamente aquilo que o cliente tem necessidade e está disposto a pagar (WOMACK e JONES, 1998).
- 2- Identificação da cadeia de valor: o agrupamento de todas as atividades para o processamento de um produto específico é denominado cadeia de valor, incluindo as tarefas de solução de problemas, gerenciamento da informação e transformação física. A identificação e análise dessas atividades constitui o segundo passo na mentalidade enxuta, já que na maior parte dos casos, evidencia grandes quantidades de atividades que não agregam valor (WOMACK e JONES, 1998).

- 3- Fluxo contínuo: adotar um processo com a maior fluidez possível é essencial para o sucesso da produção enxuta. O fluxo contínuo e a integração da cadeia produtiva fazem com que o *Lead Time* do processo seja menor e os estoques intermediários aproximem-se de zero de maneira que o fluxo siga sem intermitências ou gargalos (WOMACK e JONES, 1998).
- 4- Produção puxada: com um fluxo contínuo após a identificação da cadeia de valor, a organização tem condições de trabalhar apenas com o que os clientes precisam, deixando que o cliente faça primeiro o pedido para que a partir disso, a produção do produto comece a ser executada. Esse quarto princípio do pensamento enxuto faz com que os desperdícios de superprodução e estoques fiquem próximos de serem completamente eliminados (WOMACK e JONES, 1998).
- 5- Perfeição: produzindo exatamente o que o cliente necessita, através de um fluxo contínuo e tendo a produção puxada como princípio, a busca pela perfeição fica mais próxima, já que nesse cenário é possível expor os desperdícios que anteriormente estavam ocultos e trabalhar na eliminação deles, visando sempre à melhoria contínua para alcançar a perfeição (WOMACK e JONES, 1998).

Além de estruturado pelo pensamento enxuto, o *lean manufacturing* desenvolveu-se sustentado pelos pilares do *just-in-time*, que é o conceito de entregar o item certo, no momento adequado e somente na quantidade necessária e da automação, que é a automação com toque humano, ou seja, máquinas capazes de identificar falhas e interromper o processo no primeiro item defeituoso, transferindo somente um item livre de defeito para a próxima etapa (OHNO, 1997).

Dessa forma, seguindo os princípios da mentalidade enxuta e tendo implementado os conceitos de *just-in-time* e da automação, é possível eliminar não só os desperdícios, representados pelo vocábulo japonês *muda*, mas também as irregularidades e os excessos, conhecidos pelos termos *mura* e *muri*.

Portanto, a eliminação dos desperdícios, irregularidades e excessos, tem como objetivo o aumento das receitas nas organizações, já que em empresas tradicionais, parte dos custos relacionados à produção de um bem ou serviço é composta por atividades que não agregam valor, fazendo com que os lucros sejam menores e a empresa seja menos competitiva no mercado, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Estrutura financeira de empresa com e sem o pensamento enxuto.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

2.1.3 Escritório enxuto

Com o êxito do pensamento enxuto aplicado aos processos fabris, a ideologia passou a incorporar outros tipos de processos, inclusive os administrativos, surgindo então, o conceito de escritório enxuto (*Lean Office*).

Assim como apresentado na explanação sobre os fundamentos da produção enxuta, Lareau (2002) descreve os desperdícios como sendo as principais causas para os altos custos, atrasos e problemas em não atender as necessidades dos clientes, ou seja, da mesma maneira que na fábrica, a eliminação dos desperdícios nas áreas administrativas é fundamental para se alcançar o escritório enxuto. Porém, diferente da manufatura, no escritório os desperdícios são mais difíceis de serem identificados, pois grande parte deles estão relacionados à dados e informações conforme ilustrado na Tabela 1 (MCMANUS, 2005).

Tabela 1 - Comparativo entre os princípios do pensamento enxuto da manufatura e no escritório.

	MANUFATURA	ESCRITÓRIO
Especificação do valor	Visível em cada passo; objetivo definido.	Difícil de enxergar, objetivos mutantes.
Identificação da cadeia de valor	Itens, materiais e componentes.	Informações e conhecimento.
Fluxo contínuo	Interações são desperdícios.	Interações planejadas devem ser eficientes.
Produção puxada	Guiado pelo <i>Takt Time</i> .	Guiado pela necessidade da empresa.
Perfeição	Possibilita a repetição de processos sem erros.	O processo possibilita melhoria da empresa.

(Fonte: adaptado MCMANUS, 2005)

Apesar de mais complexos, é de extrema importância a identificação e eliminação dos desperdícios nos processos administrativos. Lareau (2002) classificou os desperdícios mais comuns no escritório em quatro segmentos, sendo eles: desperdícios com pessoas, desperdícios com processos, desperdício de informações e desperdício de bens materiais, conforme a seguir:

1- Desperdícios com pessoas:

- Alinhamento de objetivos: é a energia gasta para recuperar a falta de entendimento de um determinado objetivo por parte de uma ou mais pessoas envolvidas em certo trabalho.
- Atribuição: é o esforço utilizado para a realização de uma tarefa desnecessária ou incorreta.
- Espera: caracterizado pela perda de recursos com pessoas esperando por informações, aprovações, reuniões, entre outros problemas, de maneira que não seja possível agregar nenhum valor ao produto ou serviço enquanto estão esperando.
- Movimentação: caracterizado pela existência de movimentos desnecessários, ou por falta de instrução ou pela distância entre as fontes de informações.

- Processamento: esse desperdício existe quando um processo não é realizado de maneira ótima, ou seja, quando existem pessoas trabalhando muito e o resultado é insatisfatório pela falta de aproveitamento dos recursos.

2- Desperdícios com processos:

- Controle: é a energia usada para monitorar e controlar processos que não são autônomos, ou seja, que não conseguem trabalhar de forma eficiente e eficaz sem um monitoramento constante.
- Variabilidade: esse desperdício é definido pelos recursos despendidos em atividades para corrigir um trabalho já realizado, devido uma determinada variação no processo.
- Alteração: o desperdício por alteração é o recurso gasto para alterar um determinado processo sem entender todas as variáveis envolvidas na alteração, o que muitas vezes faz com que a alteração não seja aceita e o que foi alterado volte ao seu estado original.
- Estratégia: é o desperdício com trabalhos que satisfazem um determinado cliente interno a curto prazo, mas que a longo prazo gera uma insatisfação do cliente final.
- Confiabilidade: é o esforço gasto para corrigir processos que não são confiáveis, ou que apresentam falhas por causas desconhecidas.
- Padronização: é a energia gasta para corrigir erros em um determinado trabalho por falta de um método padronizado.
- Subotimização: causado pela concorrência entre atividades, essa perda pode gerar resultados duplicados ou até mesmo comprometer todo o trabalho.
- Agendamento: é o desperdício causado pela falta de administração do tempo durante os processos.
- Processos informais: recursos utilizados na criação e manutenção de processos informais que substituem os processos formais, gerando conflitos de informações entre os envolvidos nesses processos.
- Fluxo irregular: quando grandes quantidades de materiais ou informações acumulam-se entre os processos, gerando um fluxo irregular.
- Inspeção: recursos despendidos com inspeções desnecessárias devido falta de confiança em um processo.
- Erros: retrabalhos devido a erros nos processos.

3- Desperdício com informações:

- Traduções: muitos analistas, gerentes e diretores, gastam parte considerável de sua carga horária com traduções de idiomas e alteração de formatos em relatórios e documentos.
- Informações perdidas: refere-se aos recursos gastos para recuperar a falta de uma informação importante.
- Falta de integração: é o desperdício com transferência de materiais ou informações por falta de integração entre sistemas e departamentos.
- Irrelevância: energia gasta com levantamento de informações desnecessárias ou irrelevantes.
- Falta de exatidão: diz respeito aos recursos perdidos por conta das consequências de uma informação errada ou vaga.

4- Desperdício de bens materiais:

- Estoques: desperdício com aquisição ou produção de materiais além do necessário, gerando estoques.
- Processos secundários: refere-se ao tempo gasto esperando produtos de processos secundários que são gargalos no sistema administrativo.
- Ativos subutilizados: desperdício com aquisição de ativos que não serão utilizados em sua capacidade máxima no escritório.
- Transporte: desperdício com transporte de materiais e informações durante processos intermediários.

A Figura 5 apresenta os desperdícios mais comuns em escritório de forma sintética.

Figura 5 - Desperdícios mais comuns no escritório.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Além dos desperdícios mais comuns, Lareau (2002) também apresenta os desperdícios relacionados à liderança dentro dos escritórios, tais como: falta de foco, problemas na estrutura organizacional, falta de disciplina e de domínio.

Observa-se assim, que grande parte dos desperdícios elencados dentro dos escritórios relacionam entre si e diz respeito principalmente a falta de integração e comunicação entre os processos e seus recursos.

2.1.4 Pensamento enxuto e indústria 4.0

O paradigma do pensamento enxuto tornou-se a principal abordagem para criar processos altamente eficientes na indústria desde o início dos anos 1990. As características chave são integração rigorosa de recursos humanos no processo produtivo, melhoria contínua e atividades com valor agregado, evitando perdas. A abordagem enxuta foi bem-sucedida devido à sua alta eficácia, reduzindo a complexidade e evitando as etapas do processo que não agregam valor. Além disso, tem relação direta com os principais pilares da Indústria 4.0, onde é possível identificar uma base totalmente enxuta. (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015).

Atualmente observa-se que apenas o sistema de produção enxuta baseado no *just-in-time* e na automação (automação com toque humano), já não é suficiente para atender as novas demandas do mercado, que se apresenta cada vez mais instável e competitivo. (ERLACH, 2013). Assim, além da automação que marcou a terceira etapa da revolução industrial, é necessário que essa automação, ou automação, seja realizada de forma integrada, surgindo então o conceito de indústria 4.0.

Isto acelera a mudança da Indústria 4.0 da ciência à realidade. Na prática, novas soluções devem agregar valor para os usuários dentro de um risco aceitável. A integração das soluções da Indústria 4.0, que em geral estão ligadas a altos investimentos, é especialmente lucrativa em áreas onde redução de custo e métodos simples do *Lean Manufacturing* não estão completamente cumprindo as exigências atuais (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015).

Aplicando a concepção de Indústria 4.0 para estabelecer a mentalidade enxuta, poderia acarretar em um aumento da eficiência, eficácia e efetividade nas ações de melhoria contínua, eliminando os desperdícios e intensificando a integração entre os processos. Além disso, a estabilidade e a previsibilidade são duas características fundamentais em processos enxutos, fazendo com que eles se tornem menos complexos, apoiando assim, a instalação de soluções da Indústria 4.0 (KOLBERG e ZÜHLKE, 2015).

Portanto, após a implementação do conceito de terceirização, *offshoring* (realocação de processos de negócio de um país para outro) e automação do trabalho nas últimas décadas, a indústria está agora em busca do próximo horizonte de eficácia operacional. Digitalização e Indústria 4.0 estão abrindo novas reduções de custo que até agora permaneceram inexploradas (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

2.2 Indústria 4.0

Atualmente, a Indústria 4.0 é um termo popular, usado para descrever as mudanças iminentes do cenário industrial, particularmente na indústria de produção e fabricação do mundo desenvolvido. No entanto, o termo ainda é usado em diferentes contextos e carece de uma definição explícita. (BRETTEL *et al.*, 2014)

O termo Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, melhor compreendida como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos, que é voltada para as necessidades dos clientes, cada vez mais individualizadas. Este ciclo começa com a ideia do produto, abrange a colocação de pedidos, desenvolvimento, fabricação, e entrega do produto para o cliente final, se estendendo até a fase de descontinuação, ou seja, quando o produto deixará de ser produzido. A base para a quarta revolução industrial é a disponibilidade de todas as informações relevantes em tempo real, conectando todas as instâncias envolvidas na cadeia de valor. A conexão de pessoas, objetos e sistemas, cria conexões de valor agregado, dinâmicas, auto-organizadas, e em tempo real dentro e entre empresas. Estes podem ser otimizados de acordo com diferentes critérios, tais como custos, disponibilidade e consumo de recursos. (PLATFORM INDUSTRY 4.0, 2013).

Há três razões para as transformações atuais representarem não apenas uma prolongação da terceira revolução industrial, mas sim o início de uma distinta: velocidade, escopo e impacto do sistema. Não há precedentes históricos da velocidade que as inovações estão surgindo. Estudos baseados na Lei de Moore, que também se aplica a tecnologias em desenvolvimento, mostram que o enorme crescimento na capacidade do computador associado a uma redução de custo dos componentes e sua miniaturização, torna estes itens adequados e plausíveis de uso industrial. Inclusive novas tecnologias, como impressora 3D, tecnologia de sensores, inteligência artificial, robôs e nanotecnologia, são empregadas com seus conceitos adaptados a máquinas e equipamentos (DELOITTE, 2015).

De acordo com Rüßmann *et al.* (2015) muitos dos avanços tecnológicos formam uma base para o desenvolvimento da Indústria 4.0. Isoladamente, cada tecnologia transforma e otimiza a produção, porém em trabalho conjunto, agindo de forma integrada, levam a uma

maior eficiência e mudam as relações de produção tradicionais entre fornecedores, produtores e clientes, bem como entre homem e máquina. Sendo assim, é possível identificar 9 pilares suportando a evolução da Indústria 4.0, demonstrados na Figura 6 e explicados a seguir.

Figura 6 - Os nove pilares da Indústria 4.0.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

- 1- O *Big Data* atua como um grande banco de dados. Surgiu recentemente no mundo industrial com o aumento da quantidade de dados a serem analisados de diferentes fontes, como por exemplo, equipamentos e sistemas. Citando caso análogo, o fabricante de semicondutores *Infineon Technologies* diminuiu as falhas do produto, correlacionando dados capturados na fase de teste no final do processo de produção com os dados recolhidos no início. Desta forma, a empresa pôde identificar padrões que ajudaram a descarregar semicondutores defeituosos no início do processo de produção e melhorar a qualidade da produção (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- 2- Os robôs têm sido utilizados por muitas indústrias para lidar com serviços complexos, contudo, seu uso está evoluindo para uma maior utilidade. Eventualmente, irão interagir um com o outro, trabalhar, com segurança, lado a lado com os seres humanos, e aprender a partir deles. Essa abordagem é utilizada pela Kuka, um

fabricante de equipamentos robóticos europeu, que oferece robôs autônomos que interagem uns com os outros (RÜßMANN *et al.*, 2015).

- 3- Na fase de engenharia, simulações 3D de produtos, materiais e processos de produção já são utilizados, podendo ser extensivos a operações da planta também. Estas simulações irão alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos. A Siemens, uma vendedora de máquinas alemã, desenvolveu uma máquina virtual que pode simular a usinagem de peças usando dados da máquina física, reduzindo o tempo de preparação para o processo de usinagem (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- 4- A maioria dos sistemas de TI de hoje não são totalmente integrados. Com a Indústria 4.0, empresas, departamentos e funções se tornarão muito mais coesas, permitindo que as cadeias de valor sejam verdadeiramente automatizadas. A *Dassault Systèmes* e a *BoostAeroSpace*, lançaram uma plataforma de colaboração para a indústria aeroespacial e defesa europeia. A plataforma, *AirDesign*, serve como um espaço de trabalho comum para o projeto e colaboração de fabricação, e está disponível como um serviço em uma nuvem privada (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- 5- Cada vez mais dispositivos e sensores, são enriquecidos com computação embarcada e conexão de tecnologias padrão, permitindo que os dispositivos se comuniquem e interajam tanto com o outro, como com os controladores mais centralizados. A Bosch Rexroth, um fornecedor de sistemas de controle, equipou uma unidade de produção de válvulas com um processo de produção descentralizada semiautomático. Os produtos são identificados por códigos de identificação de frequência de rádio, e as estações de trabalho "sabem" que passos de fabricação devem realizar para cada produto e adapta-se para executar a operação específica (RÜßMANN *et al.*, 2015)
- 6- Com o aumento da conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão que vem com a Indústria 4.0, a necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças de segurança cibernética, aumentam drasticamente. Durante o ano passado, vários fornecedores industriais de equipamentos uniram forças com empresas de segurança cibernética através de parcerias ou aquisições (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- 7- As empresas já estão usando a nuvem (*cloud*, do inglês), para armazenamento, análise e compartilhamento de grande quantidade de dados. Como resultado, os dados gerados pelas máquinas são cada vez mais direcionados para a nuvem, permitindo serviços mais voltados para dados nos sistemas de produção (RÜßMANN *et al.*, 2015).

- 8- As empresas apenas começaram a adotar manufatura aditiva, tais como a impressão 3D, principalmente para protótipos e produção de componentes individuais. Estes métodos serão amplamente utilizados para a produção de pequenos lotes de produtos personalizados. Por exemplo, as empresas aeroespaciais já estão usando a manufatura aditiva para aplicar novos projetos que diminuem o peso das aeronaves, reduzindo as suas despesas de matérias-primas, como o titânio (RÜßMANN *et al.*, 2015).
- 9- Sistemas de realidade argumentativa suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e envio de instruções de reparação através de dispositivos móveis. Estes sistemas fornecerão informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e procedimentos de trabalho. Por exemplo, os trabalhadores podem receber um aviso, instruções de reparo e qual o dano assim que o sistema real necessitar de reparo (RÜßMANN *et al.*, 2015).

A nova abordagem proposta pela Indústria 4.0 resultará em grandes mudanças nos processos de manufatura e modelamento de negócios. Os potenciais ganhos envolvem vários fatores, como o aumento da flexibilidade dos processos devido à modularidade do sistema e de uma customização em massa, possibilitando alterações de último minuto quanto a requisitos, substituições ou expansão da produção (SHROUF, ORDIERES e MIRAGLIOTTA, 2014).

Devido ao maior uso de *designs* digitais e simulações virtuais, a velocidade com que o produto é produzido tende a aumentar. Através da análise de grandes quantidades de dados coletados por meio de dispositivos da Internet das Coisas, ou seja, *BigData*, novas melhorias e resultados podem ser fornecidos, reduzindo erros, falhas e conseqüentemente custos com construção de protótipos, atuando indiretamente na qualidade do produto. (DAVIES, 2015).

A tomada de decisão passa a ser otimizada, já que a transparência e obtenção de informações podem ser acessadas quase em tempo real. Além disso, a transparência inclui a consciência do comportamento do consumo de energia dos processos de produção, de forma a reduzir o desperdício de energia e os custos de consumo. O aumento da produtividade, dos recursos e da eficiência energética, devido a novos métodos de planejamento, permite que os processos de fabricação sejam otimizados em diferentes níveis e em tempo real baseado em cada caso. Tudo isso, sendo que a produção será otimizada com uma intervenção mínima do ser humano (SHROUF, ORDIERES e MIRAGLIOTTA, 2014).

A conexão das cadeias de abastecimento permite obter uma melhor compreensão das informações da cadeia logística, entender as interdependências, o fluxo de materiais e

tempos de ciclo de produção, reduzindo o desperdício de matéria prima. E por fim, os sistemas de produção, que coletam dados de desempenho, são monitorados, melhorando a manutenção proativa (LINS, 2015).

Para a maioria das empresas, uma abordagem disruptiva para a implementação de novas e desconhecidas tecnologias é bastante arriscada. O custo do tempo ocioso de produção por dia é elevado, e as empresas, sendo assim, vão pesar cuidadosamente os benefícios da introdução de novas tecnologias contra eventuais riscos para processar confiabilidade. Como resultado, as organizações abordam rupturas fundamentais com cautela, de modo que a mudança será bastante incremental. Isso resulta em longos ciclos de investimento e uma abordagem mais conservadora para a tomada de decisão (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

Esta nova revolução digital promete aumentar a flexibilidade, customização em massa, velocidade, produtividade e melhorar a qualidade. Contudo, para alcançar esses benefícios, as empresas precisarão tanto de investimento em equipamentos, informação e análise de dados, quanto em integração de fluxo de informação ao longo da cadeia de valor (DAVIES, 2015).

Como o conceito é recente, há muita especulação sobre o verdadeiro valor que a Indústria 4.0 vai agregar às organizações já que os investimentos tanto em equipamentos como em infraestrutura são extremamente altos. A maioria das indústrias não estão preparadas para suportar a transformação digital necessária. Instalações precisam ser adaptadas e em alguns casos precisam de uma mudança radical em sua estrutura. Diversos sistemas precisam ser interligados e aprender a se comunicar. Uma gama de sistemas em diferentes seguimentos, como pesquisa e desenvolvimento, compras, produção, logística, marketing e vendas precisam ser considerados para se comunicarem (DELOITTE, 2015).

As implicações de custo, investimento e tempo, são, no entanto, um fator chave para todas as empresas, independentemente de seu tamanho. Ainda mais quanto a decisões de melhoria da atual infraestrutura de TI ou desenvolver, do início, novos sistemas (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

Outra preocupação são as grandes quantidades de dados coletados e compartilhados, que estarão suscetíveis a mais ataques cibernéticos, espionagem industrial e vírus. Havendo a necessidade de instalar novos sistemas de segurança, não apenas para prevenir estes ataques, mas para aprender a lidar com eles (DELOITTE, 2015).

A natureza do trabalho será alterada de trabalho manual para programação e controle de máquinas de alta performance. O número de mão de obra qualificada e onde serão alocadas ainda é incerto, trazendo vários desafios e incertezas para os atuais e futuros trabalhadores. Já do ponto de vista corporativo, será necessário se atentar para o

desenvolvimento de competências dos empregados e recrutamento de novos trabalhadores. (KAGERMAN, WAHLSTER e HELBIG, 2013.)

Padrões comumente acordados, estabelecendo normas internacionais de comunicação, formato de informações e interfaces, serão essenciais para a interoperabilidade entre diferentes setores e países. A manufatura avançada também levantará questões legais quanto à supervisão de funcionários, responsabilidade pelo produto e propriedade intelectual (DAVIS, 2015).

Ao contrário das revoluções industriais anteriores, a Indústria 4.0 não pretende substituir os ativos existentes por novos, mas sim dominar os desafios gerenciais colocados pelas tecnologias disruptivas nas dimensões de eficácia operacional e novos modelos de negócio, através de mudanças do conjunto de valores. Estas dimensões visam ajudar a compreensão do impacto das tecnologias disruptivas nas empresas e navegar pelo cenário de mudanças, identificando as implicações da Indústria 4.0 em cada nível da organização (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

As empresas estão se interessando cada vez mais pela Indústria 4.0, dedicando equipes especializadas na criação de redes inter setoriais para conduzir seu desenvolvimento. O significativo investimento se dá ao fato dos recursos tradicionais de produtividade estar amplamente esgotados. Tempo de mercado e agilidade são atualmente fatores-chave de competitividade, e as empresas estão investindo em tecnologias que possuam o potencial de atender a níveis de custos baixos de trabalho em qualquer local. As empresas estão redesenhando suas redes de produção e movendo-se mais perto de seus clientes e centros de pesquisa e desenvolvimento. A pressão sobre as empresas continua a aumentar, e muitos estão à procura de novas oportunidades para aumentar a produtividade (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

A Indústria 4.0 constitui uma mudança de paradigma de ativos físicos para otimizar como os dados e informações devem ser aproveitados ao longo do ciclo de vida do produto. Essa otimização digital baseia-se em um fluxo de informação *end-to-end*, em suma: um "fio digital" que atravessa o ciclo de vida do produto inteiro como sua representação digital. Esta discussão digital começa com o desenho digital do produto, passa através do processo de fabricação digitalmente dirigido e controlado, leva à monitorização digital do produto final em operação, e, finalmente, termina na reciclagem do produto, onde a informação armazenada digitalmente pode ajudar a identificar as peças para reutilização. Em cada uma destas etapas, o formato digital da informação funciona como um facilitador: os dados podem ser trocados de modo simples. Otimizar o segmento digital é, portanto, sobre como fazer o melhor uso da informação (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

Informação em si não tem valor inerente. Toda a coleta de dados deve ser abordada com o objetivo de maximizar o valor. Portanto é preciso se atentar para os valores concretos

em toda a empresa, ou seja, áreas onde as ineficiências ocorrem devido a falhas de informação. As tecnologias da Indústria 4.0 fazem uso da informação para capturar potenciais de valor. Gerenciar, integrar e analisar dados entre as fontes e empresas tem por objetivo gerir melhor o segmento digital e ajudar as empresas a se prepararem para melhorias operacionais. Para ativar um fluxo de informação, diferentes fontes de dados precisam ser integradas, a partir de diferentes aplicações dentro e de fora da empresa, aumentando em grande escala a complexidade dos processos industriais (MCKINSEY & COMPANY, 2015).

A complexidade pode ser reduzida, aumentando a flexibilidade através da divisão do processo em pequenas unidades de valor orientadas, também conhecidas por módulos, blocos ou *clusters* (BRETTEL *et al.*, 2014). Um dos maiores paradigmas por trás dessa tendência é a Internet das Coisas que prevê um mundo permeado com dispositivos inteligentes embarcados, muitas vezes chamado de "objetos inteligentes", interconectados através da internet. Este cenário é muito desafiador uma vez que nem todos os blocos de construção da Internet das Coisas ainda estão no lugar (SERBANATI, MEDAGLIA e CEIPIDOR, 2011).

Para uma modularização bem-sucedida, a arquitetura do produto deve ser dissociada em subsistemas, pequenos e interdependentes. Através de ajustes flexíveis da combinação de módulos padronizados a velocidade do desenvolvimento de novos produtos aumenta drasticamente e o *time-to-market*, tempo entre a análise de um produto e sua disponibilização para a venda, pode ser encurtado significativamente. Embora introduzido primeiramente por produtos, o conceito de modularidade é aplicado a muitas diferentes áreas do sistema de produção, planejamento de produção e simulação (BRETTEL *et al.*, 2014).

Indústria 4.0 centra-se na criação de produtos inteligentes e processos de produção. Na fabricação futura, as fábricas terão de lidar com a necessidade de desenvolvimento de produto rápido, produção flexível, bem como ambientes complexos (VYATKIN *et al.*, 2007).

A área com o maior potencial de melhoria dependerá da empresa. Um estudo feito pela DELOITTE com empresas de manufatura suíças, mostrou um cenário bem variado em relação a qual seguimento do negócio terá maior potencial de benefício com as transformações futuras. Primeiramente tem-se pesquisa e desenvolvimento, na qual um total de 78% das empresas vê grande potencial, seguida por logística com 74%, produção 73%, serviços 72%, compras 69% e vendas 56%. Há uma grande demanda por transformação na área de pesquisa e desenvolvimento, já que são usuários tradicionalmente em massa de aplicações tecnológicas, inovadoras, e propensa a se manter assim no futuro.

As rápidas mudanças e desenvolvimento na área tecnológica, de métodos e novos padrões mundiais, como integração de clientes e fornecedores no ciclo de vida do produto,

empresas virtuais, gerenciamento de projetos e abordagens de *design* de produto, tem proporcionado uma rápida redução do tempo de desenvolvimento, aumentando a complexidade e funcionalidade de produtos (KALPIC e BERNUS, 2002). Esse é o próximo assunto que será abordado.

2.3 Processo de Desenvolvimento do Produto

Devido à extrema competitividade do mercado global, dominar o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) torna-se um dos fatores chave de sucesso na organização. Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), este processo possibilita que a empresa crie novos produtos e em menor tempo, evidenciando a necessidade de uma gestão eficiente do processo de desenvolvimento de produto, de maneira a atingir ao máximo os requisitos exigidos pelos clientes, a partir dos recursos disponíveis na empresa. Diante disso, as empresas investem cada vez mais em melhoria contínua de processos de desenvolvimento e na provisão de suportes adequados, como informação, metodologia e estrutura organizacional, de modo a obter excelência de performance (KALPIC e BERNUS, 2002).

Para Kalpic e Bernus (2002), o desenvolvimento de novos produtos, pode ser definido como um processo que integra diferentes funções no negócio, uma vez que, após o lançamento do produto, a sua fabricação e a sua comercialização requerem atividades de diversos setores, e requer cooperação e coordenação mútua com o objetivo de transformar uma ideia de produto em um produto final passível de produção e distribuição.

Dentro de uma percepção mais recente, o PDP é tratado como o processo principal que pode, ou não, agregar valor ao cliente final (MORGAN e LIKER, 2006). Sendo assim, os conceitos da filosofia enxuta expandem-se além da manufatura enxuta para o desenvolvimento de produto enxuto (*Lean Product Development*), no qual as decisões relativas a todos os processos produtivos subsequentes serão tomadas (PAGAN, SILVA e MELLO, 2013).

O PDP é caracterizado por um processo complexo, dinâmico, com muitas atividades inter-relacionadas, e grande volume de informações manipuladas no processo, vincula também processos, atividades e requisitos externos a empresa com requisitos internos. (ALMEIDA, MIGUEL e CARVALHO, 2008).

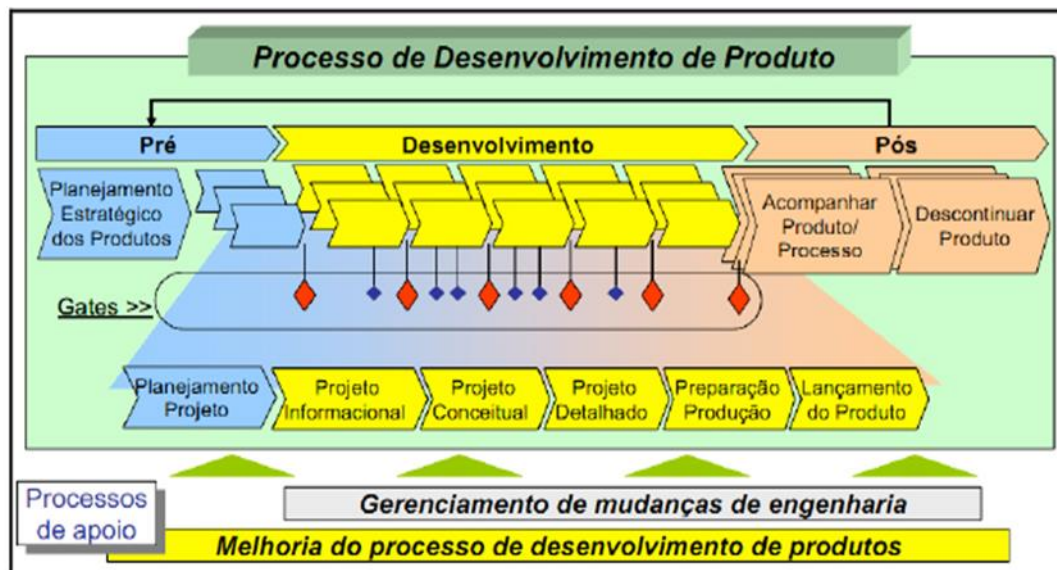
Desde o surgimento da abordagem de processos de negócios em PDP, modelos de referência encontrados em diversas literaturas, mais ou menos elaborados, foram propostos para ajudar profissionais a identificarem as melhores práticas possíveis dentro de um contexto de economias desenvolvidas (AMARAL, ROZENFELD, 2007).

De acordo com Clark e Fujimoto (1991), o modelo de PDP adotado pelas empresas, depende do seu mercado de atuação, capacidade tecnológica e de maturidade no processo

de desenvolver produtos, sendo que, mesmo empresas com características similares podem adotar processos de desenvolvimento de produtos consideravelmente diferenciados. Este trabalho adota como base o modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), o qual é voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. A abordagem utilizada por Rozenfeld *et al.* (2006) divide o PDP em macrofases, fases e atividades.

Para compreender melhor as fases mencionadas, a figura abaixo representa o modelo proposto por Rozenfeld *et al.* em 2006.

Figura 7 - Processo de Desenvolvimento de Produto.



(Fonte: ROZENFELD *et al.*, 2006)

A macrofase pré-desenvolvimento é a ligação entre os projetos desenvolvidos pela empresa e seus objetivos. Ela inclui o planejamento estratégico do produto e o planejamento do projeto. Nessas fases, são consideradas as estratégias de mercado da empresa, e também são especificados o escopo do produto e do projeto, bem como são estimados os recursos necessários, o tempo e o custo para o desenvolvimento. O custo de alterações no final de cada projeto é sempre maior do que no início do processo de desenvolvimento, portanto, um bom planejamento nas fases iniciais pode proporcionar à empresa um diferencial competitivo. A macrofase pós-desenvolvimento acompanha o ciclo de vida do produto. Nesta fase é possível avaliar o desempenho do produto no mercado, de melhorias que poderiam ser implementadas e aprimoramento de defeitos que não foram identificados nos protótipos e lote piloto, e a retirada do produto do mercado (AMARAL, ROZENFELD, 2007).

A macrofase desenvolvimento inclui as fases do projeto informacional, conceitual, detalhado, de preparação para a produção e lançamento do produto. Todas estas fases implicam no detalhamento de informações técnicas, comerciais e de produção, envolvendo elementos, tais como: desenhos técnicos, protótipos, homologações, registros, parcerias com fornecedores e processos de produção. A fase de informação compreende a tradução da análise de mercado e informações do cliente em especificações de engenharia. (AMARAL e ROZENFELD, 2007).

Esta fase inicia com a definição e especificações do produto. Então, ocorre a concepção do produto, e o abstrato transforma-se em um produto concreto, no qual o time de desenvolvimento realiza vários testes, cria protótipos, homologa e certifica a aprovação do produto final. Por fim, o produto passa a ser produzido e é lançado no mercado (PAGAN, SILVA e MELLO, 2013).

Há atividades recorrentes em todas as fases de desenvolvimento, como a avaliação de cada fase com critérios bem definidos, também conhecidos como “portões” (*Quality Gates* do inglês), monitoramento da viabilidade econômica, documentação das decisões tomadas e lições aprendidas (AMARAL e ROZENFELD, 2007).

Complementando o modelo de Rozenfeld *et al.*, o PMBOK (2001) (*Project Management Body of Knowledge* do inglês), que é equivalente a um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos, descreve as melhores práticas para a gestão dos processos de desenvolvimento de produto. Sua finalidade é agrupar todas as práticas consideradas eficazes. O PMBOK (2001) sugere que o gerenciamento de projeto seja realizado através da aplicação e integração dos processos: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento. Esses processos são organizados dentro das nove áreas de conhecimento presentes no guia: integração, escopo, tempo, custo, qualidade, recursos humanos, comunicação, riscos e aquisição. Para cada área de conhecimento são apresentados processos específicos. O objetivo é orientar a aplicação dos conhecimentos e habilidades de gerenciamento ao longo do projeto. Para cada processo, são listadas as entradas necessárias para o processo, as ferramentas e técnicas aplicáveis, e as saídas (resultados/produtos do processo). Por conseguinte, o PDP utiliza-se das boas práticas do PMBOK (2001).

As atividades oriundas das fases e macrofases no modelo de Rozenfeld *et al.*, podem ser categorizadas em diversas áreas dentro das organizações, tais como: gestão de projetos, meio ambiente, marketing, engenharia de produto, engenharia de processos, produção, suprimentos, qualidade e custos. O conjunto de atividades e tarefas é associado com descrições que oferecem ajuda aos profissionais sobre como colocar em prática, o que é descrito como filosofias, métodos e ferramentas. A filosofia é um conjunto de orientações gerais que devem ser seguidas na execução das atividades. Um método é um conjunto de

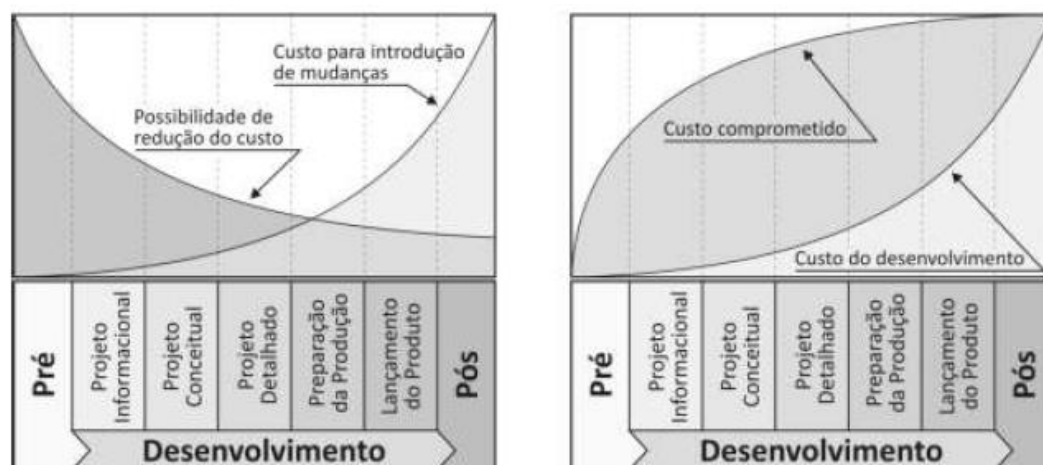
passos para executar uma ou mais atividades. E a ferramenta é o recurso que apoia o desempenho das atividades ou métodos (AMARAL e ROZENFELD, 2007).

Para cada uma das filosofias, métodos e ferramentas, o modelo fornece descrições detalhadas, e o objetivo é indicar como os usuários podem obter mais informações sobre o seu uso. Um aspecto importante destas descrições é que eles permitem contextualizar cada um desses elementos, mostrando o tipo de produtos, as empresas e outras características do modelo para o qual estas ferramentas, métodos e técnicas são mais apropriados (AMARAL e ROZENFELD, 2007).

No início do processo são definidas as especificações do produto, portanto, esta é a fase com maior potencial de otimização e redução de custo, pois é onde ocorrem definições de materiais, tecnologia, processos de fabricação, determinação de tolerâncias, detalhamentos, construção e os testes que serão aplicados. Entretanto, esta também é a fase que predomina o maior número de incertezas nas decisões. A qualidade com que as fases iniciais do PDP são realizadas refletem em um processo eficiente e um produto de sucesso (PAGAN, SILVA e MELLO, 2013).

Na Figura 8 é possível observar como o orçamento estimado é praticamente comprometido nas fases iniciais do PDP, e a partir da fase do projeto detalhado, o custo do desenvolvimento e as modificações no projeto aumentam exponencialmente. Então, conclui-se que as fases iniciais envolvem um baixo custo e alto benefício, já as fases finais, possuem alto custo e baixo benefício ao processo (PAGAN, SILVA e MELLO, 2013).

Figura 8 – Custos e benefícios nas diferentes fases do PDP.



(Fonte: BAXTER 2000)

Engenheiros de desenvolvimento do produto ajudam a equipe de trabalho a transformar os desejos, requisitos, conceitos do cliente, estudos de mercado e resultados de

pesquisa e desenvolvimento em formas, características e funções que atendam o valor que o cliente está disposto a pagar e suas expectativas (HONG *et al.*, 2005).

Pesquisadores e gerentes práticos afirmam que engenheiros de *design* tem um papel importante no desenvolvimento do produto. Contudo, a extensão do impacto de sua performance no PDP não é completamente entendida e mapeada (HONG *et al.*, 2005).

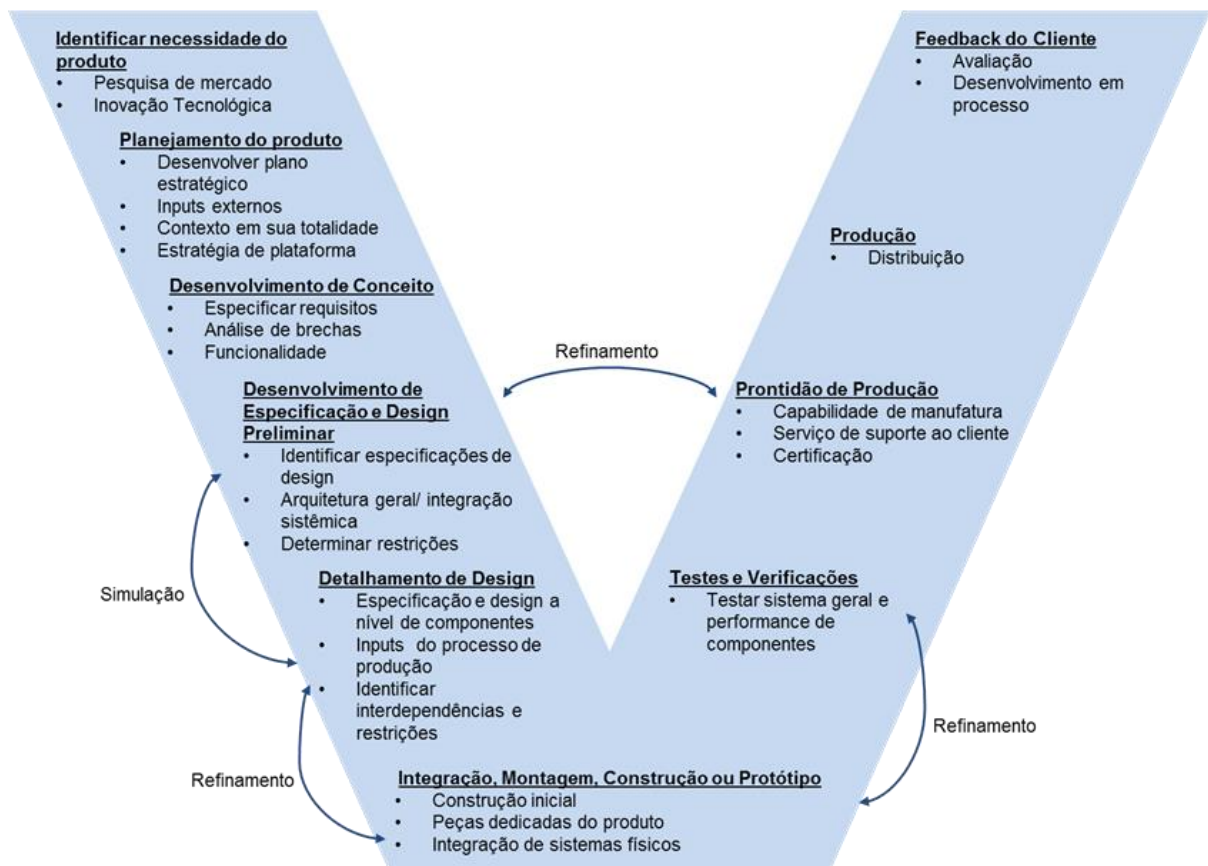
Em uma posição entre ideias abstratas e produtos viáveis, os engenheiros tem a oportunidade de coordenar aspectos importantes no processo de desenvolvimento de produto, incluindo o desenvolvimento do conceito, planejamento, *design*, detalhamento do *design*, testes, refinamento e início da produção. Para engenheiros de *design* participarem efetivamente neste ambiente são necessárias habilidades de comunicação, tomada de decisão e solução de problemas, além das habilidades técnicas (HONG *et al.*, 2005).

Baseado na abordagem tradicional da divisão de trabalho no processo de desenvolvimento do produto, as atividades do engenheiro de desenvolvimento de produto consistem no típico processo de engenharia, com natureza iterativa, e focado na definição de características funcionais e geométricas do produto. Pode-se identificar três estágios de atuação (KALPIC e BERNUS, 2002):

- Estágio de definição de requerimentos: visa transformar as ideias do produto em requisitos e funções aplicáveis. A principal atividade é a definição de requisitos, mas atividades como mudança de *design* ou até mesmo construção de protótipos podem ser demandadas de modo a confirmar a viabilidade de requisitos.
- Estágio de *design* preliminar: visa a definição do produto possibilitando as decisões de custo, riscos e tempo de desenvolvimento. Nesta fase as atividades são focadas em *design* de produto, tecnologia de manufatura e até mesmo, em protótipos.
- Estágio de detalhamento do *design*: objetiva a concretização dos conceitos propostos, modelo e *design* do produto e seus componentes, uma última checagem e processos produtivos.

Na imagem abaixo, Figura 9, é possível observar o processo de desenvolvimento do produto voltado para as atividades de Engenharia.

Figura 9 - Processo de Desenvolvimento do Produto voltado para as atividades de engenharia.



(Fonte: Adaptado de CRAWLEY, 2007)

Nota-se então, que informação e conhecimento estão se tornando recursos estratégicos. Portanto, tecnologias de informação e comunicação podem ser consideradas tecnologias estratégicas, e conhecimento, o capital chave das empresas (KALPIC e BERNUS, 2002).

Os próximos tópicos apresentarão duas ferramentas e metodologias, para tratar da complexidade e do mapeamento do processo de desenvolvimento do produto, a *Design Structure Matrix* (DSM), e o *Business Process Modeling* (BPM), respectivamente, providenciando um conjunto de técnicas que tornam o uso de um processo formal descritivo possível (AMARAL e ROZENFELD, 2007). Essas ferramentas também visam integrar os processos, alinhados aos conceitos da Indústria 4.0.

2.4 Design Structure Matrix (DSM)

Define-se como informação, um conjunto de dados registrado em via digital ou impresso, na forma escrita, visual ou oral que de modo organizado, estruturado e atrelado a

um contexto, gere conhecimento ao sistema que o recebe. A partir disso, observa-se que é fundamental que a informação seja sempre verdadeira e de fontes confiáveis, já que uma informação duvidosa ou falsa pode causar grandes impactos (LE COADIC, 2004).

Nos dias atuais, a informação se tornou uma fonte de sobrevivência para todas as áreas da sociedade, especialmente para as organizações. Segundo Neiva e D'Elia (2005), esse crescimento da informação, decorrente dos avanços tecnológicos e de sua transmissão e armazenamento, afeta principalmente o universo empresarial, o que aumenta proporcionalmente a importância de saber lidar com essa ferramenta, também considerada geradora de lucros.

A competitividade organizacional atual parte de dois preceitos, informação e conhecimento, tendo os dados disponíveis como base. Pode-se afirmar que um dado é algo sem significado e não gera assimilação por parte das pessoas, tornando-se apenas uma informação e conhecimento quando processado e agregado valor (DAVENPORT e PRUSAK, 1998).

Para que uma organização logre êxito em suas tarefas e atividades, é fundamental que haja uma gestão eficaz e eficiente, atuando de maneira árdua e contínua nos fluxos de informações, objetivo no qual não é fácil de ser alcançado e demanda muita cautela devido à tamanha abrangência.

Na era da informação sobressaem as corporações que atingem o maior grau de eficácia na informação, ou seja, aquelas que possuem a informação precisa, relevante e com qualidade, dispostas no local certo e na hora certa, sendo caracterizada como um ponto forte ou vantagem competitiva. Este ponto forte capacita a organização a alcançar seus objetivos, seja ele, a obtenção de uma maior margem de lucro, redução de custos, desenvolvimento de um novo produto ou até mesmo a busca de novos mercados de atuação. Organizações que não realizam a gestão da informação possuem em seu ambiente informações dispersas e sem nexos, que propiciam conhecimentos inconsistentes, podendo gerar desde um simples aumento de tarefas que não agrega valor até a tomada de decisão errada por parte da alta gerência o que por sua vez pode ser fatal para empresa (DAVENPORT e PRUSAK, 1998).

Com a crescente necessidade dessa gestão do fluxo informacional, as empresas passam a não só investir em equipamentos do ciclo produtivo, ou seja, aqueles que transformam materiais em bens ou serviços e passam também a investir em equipamentos que coletam, recebem, processam e disponibilizam informações e conhecimento para os níveis operacionais, táticos e estratégicos (STEWART, 1981).

A Resolução de problemas complexos é uma prática comum para engenheiros de produto, que neutralizam este desafio pela decomposição e integração do objeto de

investigação (PIMMLER e EPPINGER, 1994). Produtos, processos ou organizações são exemplos vitais deste sistema na indústria (BROWNING, 2001).

A grande quantidade de informações geram sistemas intrincados e nesse sentido, a ferramenta conhecida como *Design Structure Matrix* (DSM) auxilia o processo de decomposição e integração das informações, facilitando a análise e gestão de sistemas de alta complexidade (DANILOVIC e BROWNING, 2006).

A DSM teve seu início em 1981 com Don Steward aplicado no uso de resolução de equações, porém teve seu uso intensificado e voltado para área organizacional a partir da década de 90 devido ao crescimento significativo de sistemas computacionais e as suas complexidades de módulos, sendo pioneira em projetos aeroespaciais, automotivos, fabricação de bens de consumo e nas análises de *big datas* (STEWARD, 1981).

Atualmente são diversas instituições públicas ou privadas, de ensino ou de negócios que desenvolvem DSM's para os mais variados tipos de aplicação. Um exemplo de instituição que utiliza DSM é o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), onde são abordados tópicos como gerenciamento de projetos complexos de engenharia relacionados ao desenvolvimento de um automóvel, avião ou sistema de telecomunicações, utilizando a DSM (STEWARD, 1981).

Constituída de uma matriz do tipo quadrada, a DSM relaciona os tipos de entidade existentes, comuns entre si e as suas interações, por exemplo, a sequência das tarefas de um projeto e qual o time mais adequado, tendo sua aplicação bastante usada, principalmente por possuir uma fácil e rápida visualização, e por gerar como resultado uma redução no tempo do projeto e uma otimização de atividades que não agregam valor. O uso desta ferramenta permite um entendimento resumido e sistêmico de processos complexos, além da identificação de dependências, antecipação de riscos, alterações no sequenciamento de atividades, realocação de recursos, identificação de módulos, sub-sistemas e redução de iterações (repetição de uma ou mais ações) de forma simultânea. (STEWARD, 1981).

Dividida em entradas e saídas, a DSM relaciona em suas colunas as entradas, ou *inputs* do inglês, e nas linhas as suas saídas, ou *outputs*. Os agrupamentos, ou *clusters*, fora da diagonal principal representam o fluxo de informação, relações de precedência entre as atividades, parte de um produto ou a comunicação entre times de trabalho. As matrizes podem ser expressas de dois modos: DSM's binários, onde é visualizado apenas as existências ou ausências de informação (Figura 10) e DSM's numéricos, onde além das relações, é possível identificar o grau das mesmas através de um número "peso". Este método também pode ser representado por cores (Figuras 11 e 12) (STEWARD, 1981).

Figura 10 – DSM Binário.

	TAREFA_01	TAREFA_02	TAREFA_03	TAREFA_04	TAREFA_05	TAREFA_06	TAREFA_07
TAREFA_01	X				X		
TAREFA_02		X	X	X			
TAREFA_03	X		X	X			
TAREFA_04				X		X	
TAREFA_05				X	X		
TAREFA_06						X	
TAREFA_07							X

(Fonte: Adaptado de dsmweb.org, 2016)

Figura 11– DSM numérico representado através de cores.

	TAREFA_01	TAREFA_02	TAREFA_03	TAREFA_04	TAREFA_05	TAREFA_06	TAREFA_07
TAREFA_01	Amarelo	Verde			Vermelho		
TAREFA_02		Verde	Verde-oliva	Vermelho			
TAREFA_03	Verde		Verde-oliva	Vermelho			
TAREFA_04				Verde-oliva		Amarelo	
TAREFA_05				Verde-oliva	Verde		
TAREFA_06						Verde	
TAREFA_07							Verde

(Fonte: Adaptado de dsmweb.org, 2016)

Figura 12 – DSM numérico representado através de números “Pesos”.

	TAREFA_01	TAREFA_02	TAREFA_03	TAREFA_04	TAREFA_05	TAREFA_06	TAREFA_07
TAREFA_01	2				1		
TAREFA_02		3	5				
TAREFA_03	2		3				
TAREFA_04				6			
TAREFA_05				3			
TAREFA_06						3	
TAREFA_07							3

(Fonte: Adaptado de dsmweb.org, 2016)

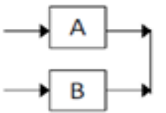

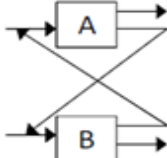
Em comparação com outros métodos de modelagem, a principal vantagem da DSM é a sua natureza gráfica e o formato da matriz. A matriz fornece uma representação extremamente compacta, facilmente entendida, e intuitivamente legível de uma arquitetura de sistema (EPPINGER e BROWNING, 2012).

São vários os benefícios alcançados apenas mudando a maneira como os elementos são estruturados, por exemplo: agrupando os componentes do produto em um conjunto diferente de módulos, reunindo pessoas em um conjunto diferente de equipes, ou até mesmo alterando as sequências de atividade em um processo. Esses tipos de melhorias permitem melhor implementar a arquitetura do produto, gerir a organização de forma mais eficaz, ou executar o processo de forma mais eficiente (EPPINGER e BROWNING, 2012).

Um grande diferencial da DSM é sua capacidade de modelagem de sistema altamente flexível. Desde seu desenvolvimento inicial a mais de três décadas atrás, muito pesquisadores e profissionais têm modificado e ampliado a DSM, desde a inserção de novas cores até a inserção de dados adicionais. Estes acréscimos e melhorias fomentam a criatividade de usuários, organizações e pesquisadores, que além de proporcionar um aumento no diálogo entre os especialistas, resultam em um melhor gerenciamento dos sistemas complexos (EPPINGER e BROWNING, 2012).

O desenvolvimento de uma DSM deve respeitar três etapas básicas: a estruturação, modelagem e programação. A primeira etapa consiste em estruturar o fluxo de informação e a interação entre as atividades classificando-as e eliminando as redundâncias. Esta relação entre atividades pode ser de modos paralelos, sequenciais ou dependentes entre si. As representações gráficas do fluxo de informações e em DSM podem ser visualizadas na Tabela 2 (EPPINGER e BROWNING, 2012).

Tabela 2 - Representação Gráfica do Fluxo de Informação.

Três configurações que caracterizam o sistema																														
Relacionamento	Paralelo	Sequencial	Interdependente																											
Representação gráfica																														
Representação DSM	<table border="1" data-bbox="620 1809 786 1921"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	A			B			<table border="1" data-bbox="885 1816 1051 1912"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td></td></tr> </table>		A	B	A			B	X		<table border="1" data-bbox="1187 1816 1353 1912"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td></td></tr> </table>		A	B	A		X	B	X	
	A	B																												
A																														
B																														
	A	B																												
A																														
B	X																													
	A	B																												
A		X																												
B	X																													

(Fonte: Adaptado do site dsmweb.org, 2016)

Com base na Tabela 2, a representação paralela indica a não interação dos elementos **A** e **B** uns com os outros, ou seja, atividades independentes, não dependendo da troca de informações (EPPINGER e BROWNING, 2012).

No modo sequencial, a atividade **B** ocorre somente após a finalização da atividade **A** e se molda conforme os parâmetros predecessores (EPPINGER e BROWNING, 2012).

Por fim, a configuração interdependente, onde ambas as tarefas correlacionam entre si, sendo **B** dependente de **A** e vice-versa (EPPINGER e BROWNING, 2012).

Para a montagem de uma DSM deve-se primeiramente identificar e realizar um sequenciamento das atividades que serão desenvolvidas através de critérios em um ciclo que tem a seguinte sequência (MAURER, BRAUN e LINDEMANN, 2009):

- Entrevistar gestores e engenheiros das áreas envolvidas;
- Listar as atividades e defini-las;
- Mostrar as interações na matriz;
- Explicar cada atividade e sua dependência;
- Solicitar aos envolvidos um breve entendimento da DSM;
- Realizar melhorias continua ao longo do tempo a fim de adequar a DSM a realidade da organização ou projeto.

A Figura 13 abaixo exemplifica de forma resumida o ciclo a ser seguido desde o início da DSM.

Figura 13 - Abordagem da DSM e o seu ciclo.



(Fonte: Adaptado de EPPINGER e BROWNING, 2012)

Além dos critérios mencionados acima, ao propor o uso da ferramenta, a equipe implementadora deve-se guiar por cinco pontos básicos que se seguidos corretamente, reduzem as probabilidades de erros, torna mais rápida a estruturação da matriz e fazem com que os resultados obtidos fiquem dentro do esperado. São eles (DONG, 1999):

1. Definir o sistema e seu escopo:

A definição do limite do sistema é importante, uma vez que a DSM é uma ferramenta que trabalha com diversas interações dentro de um único sistema ou até mesmo de um bloco. Feito isso, é possível concentrar o trabalho de investigação, relacionando as entradas com as respectivas saídas (DONG, 1999).

2. Listar todos os elementos do sistema

A equipe responsável pelo uso da DSM normalmente define o conjunto inicial de elementos do sistema com base na leitura da documentação do projeto e dos preceitos citados no item anterior ou através de planos de projetos existentes, sugestões dos engenheiros, etc. No entanto, nota-se que os elementos do sistema inicialmente definidos através de qualquer um dos métodos, muitas vezes, precisam ser modificados no processo de atribuição de interações com eles. Portanto, é necessária uma revisão crítica da lista de elementos, em colaboração com a equipe de engenharia ou outros especialistas relevantes (DONG, 1999).

3. Estudar o fluxo de informações entre os elementos do sistema

No terceiro passo deve-se estudar o fluxo de informações entre os elementos do sistema. Para isso, é importante que os documentos referentes ao projeto sejam lidos e compreendidos e o corpo de engenharia participante seja entrevistado, pois ambas as partes são boas fontes de conhecimento. As entrevistas são tão importantes quanto a leitura de documentos de projeto, por duas razões: primeiro, nem todo o conhecimento é bem capturado e registrado por documentos devido a uma grande quantidade de informação centralizadas em alguns profissionais. Por isso, torna-se fundamental o processo de entrevista, de maneira que informações antes não documentadas passem a ter registro e conhecimento mútuo. Em segundo lugar, engenheiros diferentes, muitas vezes possuem visões diferentes sobre um mesmo elemento relacionado com o outro e sua real importância, o que pode gerar um desencontro de ideias e opiniões caso não esteja registrado (DONG, 1999).

4. Completar a matriz para representar o fluxo de informações

Após reunir os elementos e as suas dependências, inicialmente, sugere-se criar uma DSM binária, a fim de representar a estrutura básica de dependências e os seus respectivos fluxos de informação entre os vários elementos do sistema. A DSM binária serve como um bom começo para uma análise preliminar, entretanto, uma melhor compreensão do sistema ou projeto podem requerer a utilização de uma DSM numérica que proporcionará uma melhor compreensão do sistema e permitir uma análise mais detalhada, visto que através deste método serão atribuídos “pesos” às interações (DONG, 1999).

5. Dar a matriz aos engenheiros e gerentes para comentar e usar

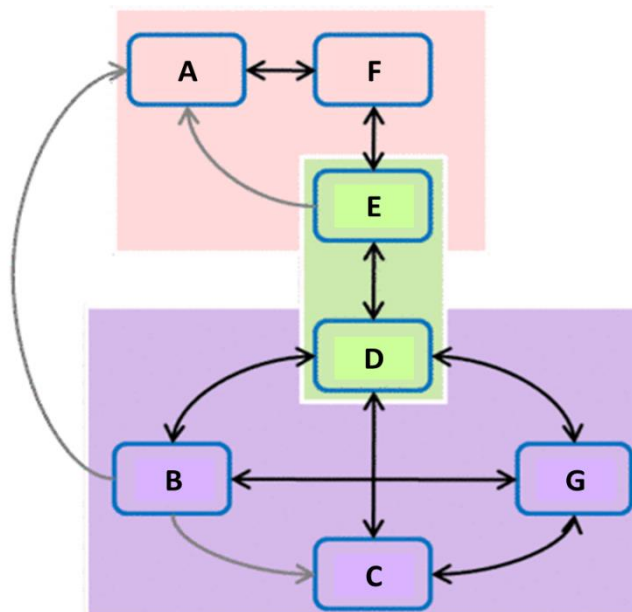
Assim que planejada e construída, a DSM deve ser fornecida aos engenheiros e gerente que participaram da sua construção de modo que eles interajam e façam comentários. Esta iniciativa torna transparentes os benefícios da construção da matriz e torna claro e objetivo os processos, fazendo com que engenheiros e gerentes repensem algumas práticas corriqueiras e passem a buscar melhorias. Todos esses *feedbacks* podem ajudar ainda mais o refinamento da estrutura da DSM (DONG, 1999).

Após a definição, montagem e revisão da matriz, uma de suas saídas podem ser através de algoritmos que indicam de forma visual os grupos onde ocorrem as maiores interações dos elementos, sejam eles processos, documentos, informações ou times de projetos. Este processo é chamado de agrupamento ou “*clustering*”, processo no qual a matriz calcula internamente seus algoritmos e demonstram através das interações identificadas subconjuntos de elementos que se interligam entre si de uma forma importante (DONG, 1999).

Em muitos projetos de alta, média e baixa complexidade, esse algoritmo é útil devido à sua capacidade de encontrar os subconjuntos que têm um mínimo de acoplamento ou interação com outros subconjuntos. Estes subconjuntos podem ser organizações, tarefas, pessoas ou processos. Através deste agrupamento, onde os aglomerados individuais contendo a maioria, se não todas, as interações dentro da matriz são destacadas, é possível realizar os trabalhos de redução, de acordo com o objetivo da matriz. Outro método é o de aglomerar os processos fortemente acoplados em conjunto para que torne fácil de visualizar as influências que os processos possam ter um sobre o outro. O método do *clustering* é utilizado em simples situações como agrupamento de componentes para montagem de uma bicicleta até em projetos extensos de times de cientistas cotados para trabalharem juntos no lançamento de uma sonda espacial (BROWNING, 2001).

Afim de melhor exemplificar, considere um projeto de desenvolvimento de um produto formado por 7 distintos integrantes. Note na Figura 14 o fluxo de informações entre os participantes (BROWNING, 2001).

Figura 14 - Fluxo de informação entre participantes.



(Fonte: Adaptado do site dsmweb.org, 2016)

Com apenas o fluxograma contendo as pessoas e os fluxos de informações, a tarefa de montar times torna-se complexa e árdua dependendo de diversas anotações paralelas, como por exemplo, qual participante depende de qual e se recebe ou envia informações. Com a criação da matriz essa visualização torna-se simplificada e dinâmica, facilitando sua interpretação. Já na última figura, Figura 16, com o rearranjo proposto pelos algoritmos, além da simplicidade de leitura da matriz, ainda é possível definir times de projetos conforme proposto e destacado, o que pode significar para o projeto uma melhoria de seus processos visto que participantes com maior envolvimento entre si e trabalhando juntos, representam ganhos e tendem a reduzir tarefas redundantes além de melhorar as atuais (BROWNING, 2001).

2.5 Business Process Management (BPM)

O BPM é uma ferramenta focada na flexibilidade e no dinamismo dos processos, não sendo um plano de negócios, mas sim uma solução imediata. É uma filosofia cujo objetivo é otimizar o rendimento e a eficiência das organizações através da gestão de processos. Atualmente o BPM auxilia as empresas centradas em processos oferecendo-lhes ferramentas que facilitem a tomada de decisões, administração, operação, controle e automatização de uma forma simples e unificada. O mapeamento é uma ferramenta que permite modelar e automatizar seus processos em tempo real capturando a lógica do negócio, além de gerenciar e melhorar seus processos, fazendo com que seus administradores consigam analisar e decidir as ações que devem seguir para atingir seus objetivos (CRUZ, 2008).

O BPM também é definido por Cruz (2008, p. 67) como:

“Business Process Management é conjunto formado por metodologias e tecnologias cujo objetivo é possibilitar que processos de negócios integrem, lógica e cronologicamente, clientes, fornecedores, parceiros, influenciadores, funcionários e todo e qualquer elemento com que com eles possam, queiram ou tenham que interagir, dando à organização visão completa e essencialmente integrada do ambiente interno e externo das suas operações e das atuações de cada participante em todos os processos de negócio.”

Esta metodologia permite reduzir custos, gastos operacionais e tempo de ciclo dos processos, aumentando a eficiência operacional das companhias e tornando-as mais competitivas. O BPM também reduz risco dentro das organizações, evitando perdas tanto de

tempo como de materiais, aumentando a flexibilidade dos processos, acarretando em um melhoramento contínuo (CRUZ, 2008).

2.5.1 Ciclo de Vida do BPM

De acordo com (CRUZ, 2008). O ciclo de vida do BPM pode ser dividido em:

- Análise inicial das necessidades: identificar o processo a ser mapeado, além da duração, custo e seu objetivo.
- Documentação, desenho e análise do processo atual: tem como objetivo documentar, desenhar e analisar o processo existente a fim de melhorar as condições de execução e operação do mesmo.
- Análise, redesenho, modelagem e criação do novo processo: após realizada a análise inicial e o mapeamento do processo atual, inicia-se o mapeamento, modelagem e simulação do processo futuro.
- Implantação do novo processo: após a modelagem e simulação, é implementado o novo processo, através de validações que garantam que o que foi projetado seja realmente executado.
- Gerenciamento do processo: com o processo implementado, o mesmo continua sendo controlado e monitorado a fim de se buscar outras melhorias, iniciando novas análises de necessidades para que o ciclo de vida do BPM seja contínuo.

A Figura 17 demonstra o funcionamento do ciclo BPM.

Figura 17 - Ciclo BPM.



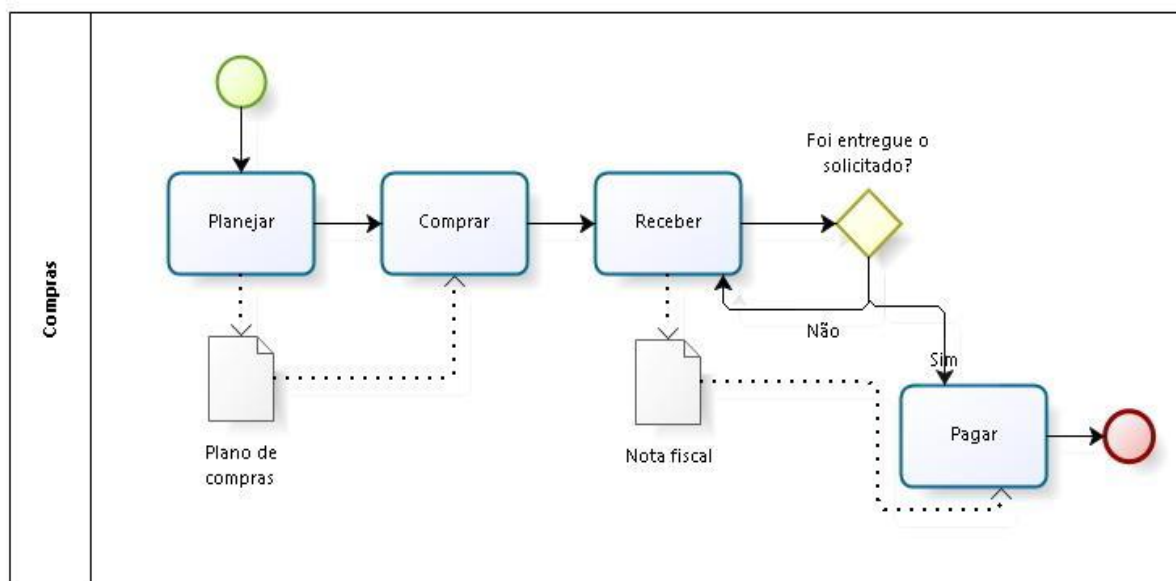
(Fonte: Adaptado de CRUZ, 2008)

2.5.2 BPMN

O BPMN (*Business Process Modeling Notation*), ou em português, notação de modelagem de processos de negócios, é uma notação cujo objetivo é servir de apoio ao BPM. É uma linguagem com uma série de ícones padrões que traduz o desenho dos processos, facilitando o entendimento e o trabalho dos usuários que a utilizam. Tem como meta identificar as falhas decorrentes dos processos, visando sempre uma melhor alternativa e a otimização dos mesmos (WHITE e MIERS, 2008).

O desenvolvimento da linguagem BPMN é importante pois reduz o vácuo existente entre as ferramentas do modelamento de processos e as notações. Houve uma grande mudança com a introdução dessa notação, principalmente na execução dos modelos. Segundo White e Miers (2008, p. 23) o “BPMN é capaz de representar diferentes níveis de detalhes e diferentes modelos de diagramas para propósitos diferentes”. A Figura 18 mostra um processo BPMN simples.

Figura 18 - Simples processo BPMN.



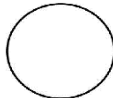

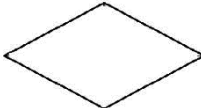
(Fonte: Adaptado de WHITE e MIERS, 2008)

No modelamento é possível identificar o estado atual do processo de negócio, chamado de *As-Is* (como é), e representar como esse processo ficará com as alterações depois de analisado, chamado de *To-Be* (como será). No estado atual (*As-Is*) é feita uma modelagem, e após análise dessa modelagem é feito um grupo de discussões para identificar quais melhorias podem ser feitas nesse processo, além das análises técnicas e sugestões. Posteriormente essa análise é possível identificar as falhas, e a partir dessas falhas que surge a fase (*To-Be*). O objetivo dessa fase é definir o que será feito para melhorar o processo (WHITE e MIERS, 2008).

2.5.3 Linguagem BPMN

A linguagem BPMN é feita através do BPD (*Business Process Diagram*) e tem como base elementos gráficos que facilitam o entendimento do usuário. Por exemplo, um BPD possui 3 elementos principais para realizar o fluxo de objetos. Esses elementos podem ser encontrados na Tabela 3 (WHITE e MIERS, 2008).




Tabela 3 - Elementos básicos do fluxo de objetos.

Elementos	Definição	Símbolo
Evento	Um evento é representado por um círculo e normalmente denomina algo que aconteceu.	
Atividade	Uma atividade é representada por um retângulo, representa um serviço que a organização realizou.	
Gateway	Um gateway é representado por um losango, é utilizado na tomada de decisões ou no tratamento de divergências do fluxo sequencial.	

(Fonte: Adaptado de WHITE e MIERS, 2008)

Os objetos de fluxo possuem ligações entre eles para que seja criada a estrutura de um processo de negócio conforme Tabela 4.

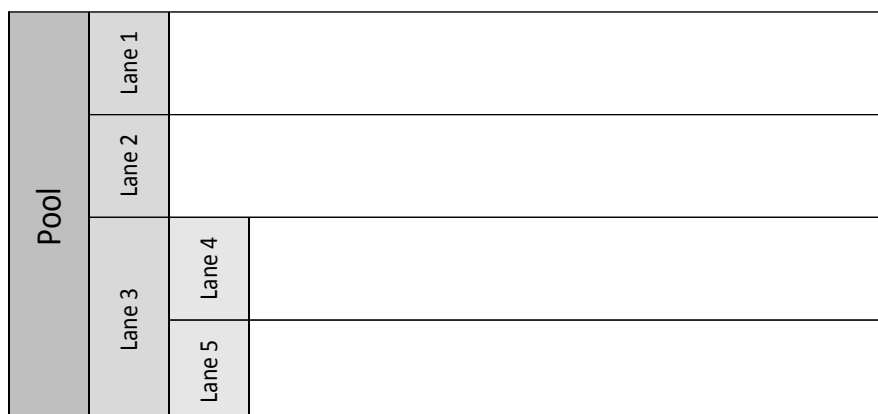
Tabela 4 - Ligações de fluxo de objeto.

Elementos	Definição	Símbolo
Fluxo de seqüência	Representado por uma linha e uma seta sólida, é utilizado para mostrar a ordem que as atividades serão executadas em um processo.	
Fluxo de mensagem	Representado por uma linha tracejada e uma cabeça de seta vazia, é usado para mostrar a troca de mensagens entre dois processos separados.	
Associação	Representado por uma linha de pontos e por uma cabeça de seta em linha, é utilizado para associar dados textos e outros artefatos ao fluxo de objetos.	

(Fonte: Adaptado de WHITE e MIERS, 2008)

No BPMN, para representar os processos dentro de um diagrama são utilizados *pools* e *lanes*. *Pool* é utilizado para representar um processo dentro de uma organização, já o *lane* representa uma subdivisão dentro de um *pool* e é usado para organizar e categorizar atividades pertinentes ao processo. Utilizando *pools* e *lanes*, é possível identificar como um processo é feito e qual departamento realiza aquele tipo de atividade. Um *pool* é feito por um conjunto de *lanes*, conforme explicado na Figura 19 (WHITE e MIERS, 2008).

Figura 19 – Pool e lanes.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

2.5.3 Softwares Disponíveis

Existem muitas as opções de *softwares* BPM no mercado. Seguem listados três dos modelos mais utilizados no mercado e suas aplicações:

- 1- ARIS Express: foi desenvolvido baseado no ARIS *Method* (Método de modelagem ARIS ou a forma de modelar usando ARIS) e em padrões da indústria. Possui uma interface intuitiva, é de fácil aprendizagem e pode gerar resultados instantâneos. Pode ser utilizado com a finalidade de aprendizado, em universidades, por exemplo, e também por usuários iniciantes em BPM. Pode ser utilizado de várias maneiras diferentes para atingir um mesmo objetivo, o grande diferencial do ARIS é a comunicação e o compartilhamento de informações (DAVIS e BRABANDER, 2007).
- 2- Bizagi Suite: é um *software* com 100% em linguagem BPMN, é uma das ferramentas em notação BPMN mais conhecidas do mercado. Esse *software* comporta o ciclo de vida completo do BPM. O Bizagi Modeler que é um *freeware* que é utilizado para diagramas, documentos e simula processos usando o BPMN. Bizagi Studio é um *freeware* BPM que é capaz de automatizar os processos dentro das organizações. E o Bizagi Engine permite executar os processos que foram modelados e automatizados (CAPTERRA, 2016).
- 3- ProcessMaker: é uma ferramenta de *software* do BPM simples de ser usada, destinada para automatizar *workflows* e melhorar a eficiência dos processos, é utilizada por milhões de companhias no mundo inteiro. É recomendada para corporações e outras organizações que procuram um produto de grande escala. Siemens, Tnt, Sony, Telefônica, Bridgestone, são alguns exemplos de clientes (CAPTERRA, 2016).

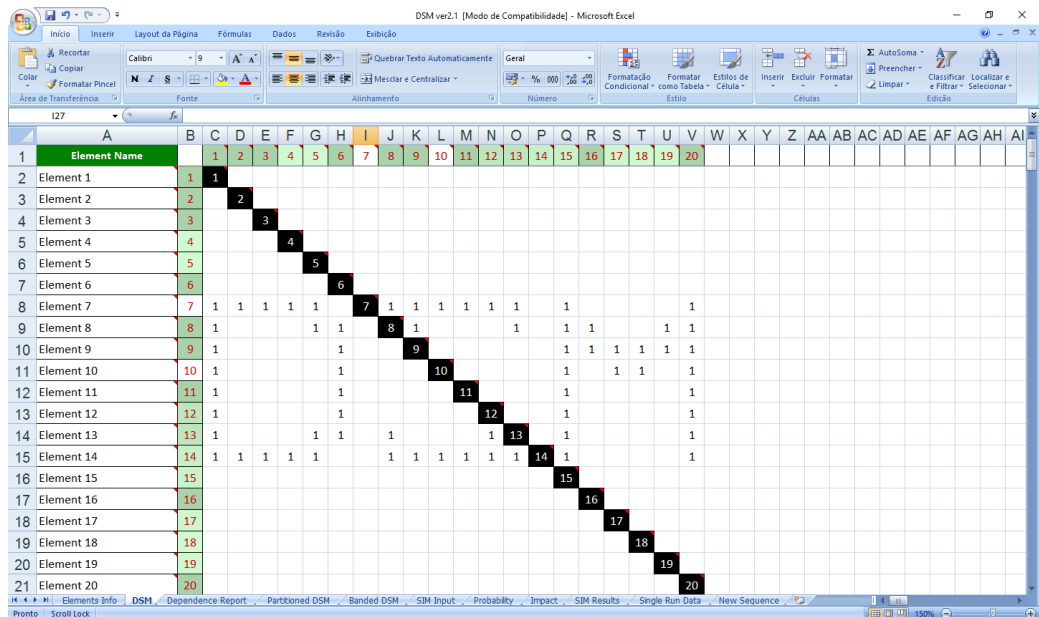
3 METODOLOGIA

A aplicação dessa pesquisa será em uma empresa multinacional situada na região de Campinas, que por determinações corporativas será mantida em sigilo. A empresa está sendo uma das protagonistas mundiais na aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 e esse fato resultou em um incentivo para o desenvolvimento da presente monografia.

Conforme citado anteriormente, o objetivo desse estudo é introduzir o conceito da Indústria 4.0 no processo de desenvolvimento do produto da empresa em questão, através da integração do fluxo de informações. Portanto, com base nos fundamentos teóricos apresentados na revisão bibliográfica, será elaborado um trabalho no formato de estudo de caso dividido em 8 etapas, conforme a seguir:

- 1- Levantamento das ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento do produto:** enfatizando as informações documentadas em arquivos computacionais, nessa etapa serão listadas todas as ferramentas de TI e os documentos utilizados para executar cada uma das atividades contidas no processo.
- 2- Análise e diagnóstico do processo:** com as ferramentas de TI listadas, será feita uma classificação das mesmas por área de atuação. Após a classificação por áreas, planeja-se eleger os *softwares* e documentos a serem trabalhados.
- 3- Mapeamento do fluxo de informações do processo atual:** através de entrevistas com os engenheiros envolvidos no processo, serão coletadas informações necessárias de entradas e saída de dados de cada *software* ou documento classificado para que se possa realizar um mapeamento simples do fluxo de informações e avaliação da relação entre os *softwares* e documentos.
- 4- Elaboração da DSM:** utilizando uma macro em formato .xls elaborada pelo MIT e disponibilizada no site DSMweb.org, será feita uma DSM com as entradas e saídas de cada ferramenta computacional classificada. A Figura 20 ilustra a planilha para a elaboração da DSM.

Figura 20 – Planilha original disponibilizada pelo site DSMweb.org.

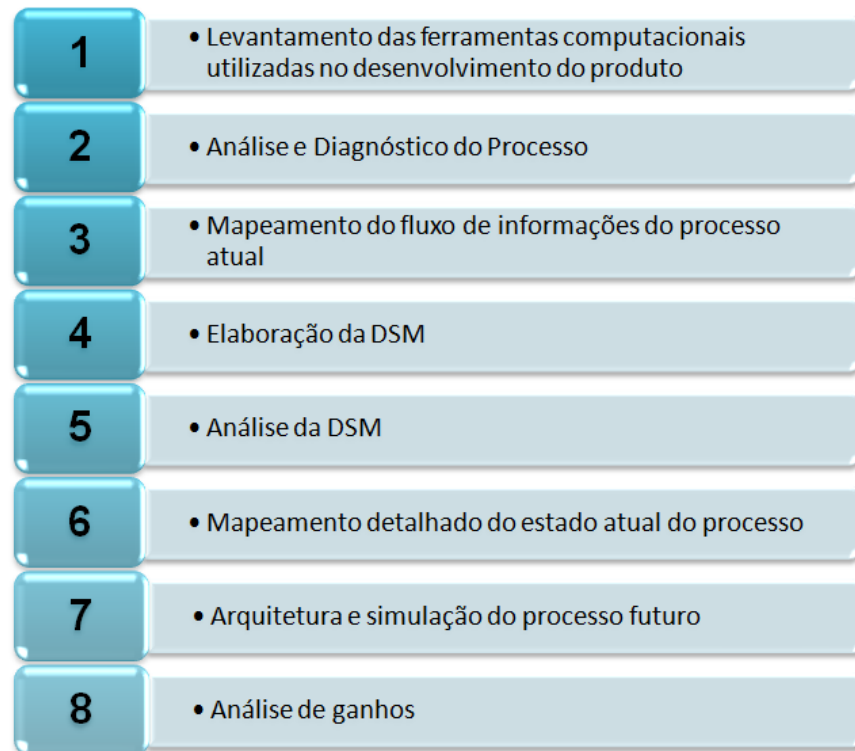


(Fonte: Elaborado pelos autores)

- 5- **Análise da DSM:** a partir do agrupamento resultante da DSM, será possível analisar onde está o maior fluxo de informações e definir quais documentos e *softwares* podem ser integrados.
- 6- **Mapeamento detalhado do estado atual do processo:** utilizando o conceito de BPM será realizado um novo mapeamento do estado atual do processo, visando entender como funciona o fluxo de informações de modo mais detalhado.
- 7- **Arquitetura e simulação do processo futuro:** ainda utilizando o conceito de BPM será realizado um mapeamento do processo futuro, simulando o fluxo de informações com as melhorias propostas, tendo por objetivo, analisar o impacto no *lead time* com a nova estrutura do processo.
- 8- **Análise de ganhos:** após o resultado da simulação e havendo redução no *lead time* do processo analisado, será estimado o ganho financeiro com a aplicação do projeto. Portanto, para mensurar esse ganho, será utilizado o indicador de tempo de mão de obra administrativa envolvida no processo de desenvolvimento de produto, baseando no custo por hora dessa mão de obra e através de uma estimativa paramétrica, calcular o ganho real com a introdução do conceito da Indústria 4.0 no processo em questão, através da integração do fluxo de informações.

Sendo assim, a Figura 21 resume a sequência das atividades realizadas durante o projeto:

Figura 21 – Etapas para o desenvolvimento do trabalho.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os conceitos de manufatura enxuta e indústria 4.0 muitas vezes são tratados como impossíveis de serem discutidos sem considerar grandes investimentos financeiros, porém o presente trabalho evidencia que esse paradigma é equivocado. Partindo do princípio que a meta das empresas é reduzir a despesa operacional e o inventário, aumentando simultaneamente o ganho (GOLDRATT, 1986), o interessante para as organizações é que a melhoria contínua, a simplicidade dos processos e a integração dos mesmos sejam efetivadas com o mínimo de recursos possíveis.

Portanto, apesar dos recursos humanos e financeiros disponíveis para a execução deste trabalho terem sido bastante restritos, foi possível introduzir o debate sobre a aplicação dos conceitos de produção enxuta e indústria 4.0 em processos administrativos dentro da empresa e obter resultados significativos para a discussão acadêmica.

Neste capítulo apresentam-se os resultados referentes às oito etapas do trabalho apresentadas na metodologia desta monografia. Algumas imagens foram desfocadas, por conterem informações confidenciais.

4.1 Levantamento das ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento do produto

Nesta etapa, são apresentados os resultados referentes ao mapeamento de ferramentas e documentos, utilizados ao longo do processo de desenvolvimento do produto.

De acordo com os critérios do CMMI (2010), *Capability Maturity Model Integration*, ou Modelo Integrado de Maturidade e de Capacidade, em português, cujo objetivo é auxiliar as organizações na melhoria de seus processos de desenvolvimento, aquisição e manutenção de produtos e serviços, existem 5 níveis de maturidade que oferecem uma forma sistemática e estruturada em estágios para melhoria dos processos dentro das empresas. Cada estágio não pode ser desconsiderado pois serve de base para o próximo, como mostra a Figura 22. Apesar de ser voltado para empresas de *software*, seu conhecimento e suas boas práticas são amplamente utilizados.

Nível 1 – Inicial: Poucos processos de desenvolvimento definidos e o resultado satisfatório dependem de esforço individual.

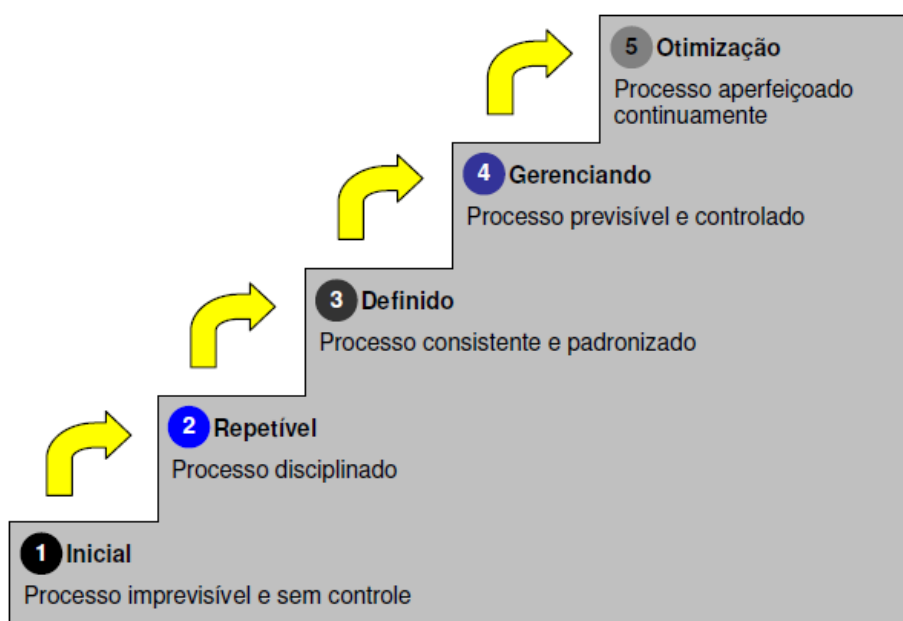
Nível 2 – Repetível: As políticas de gerência de desenvolvimento são definidas e seguidas. É o nível mais difícil de alcançar por ser uma quebra de paradigma.

Nível 3 – Definido: O processo básico para as atividades de gestão e engenharia é documentado, padronizado e integrado em uma definição padrão para organização.

Nível 4 – Gerenciado: O processo e a qualidade do produto são gerenciados minuciosamente de maneira que ambos sejam quantitativamente compreendidos e controlados.

Nível 5 – Otimização: A melhoria contínua do processo é proporcionada pelo *feedback* quantitativo do processo e pelas ideias e tecnologias inovadoras, maximizando os resultados.

Figura 22 – Níveis de maturidade de processos de desenvolvimento.



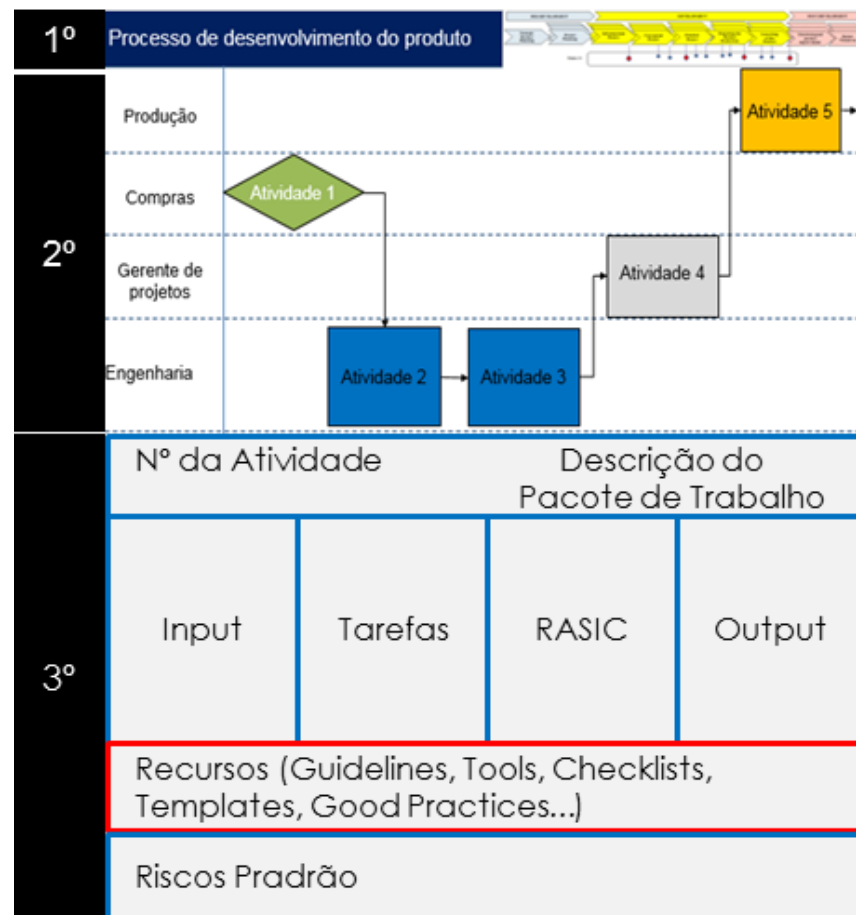
(Fonte: HALLA, 2010)

O processo de desenvolvimento do produto da empresa em que o presente trabalho foi realizado se enquadra no terceiro nível de maturidade, onde os processos computacionais utilizados já estão bem caracterizados, documentados, compreendidos e até mesmo integrados em uma definição padrão para a organização. Portanto, não houve dificuldade para levantar todas as ferramentas e documentos utilizados no processo, já que apesar das oportunidades de melhoria, o mesmo está consistente e padronizado.

Também é importante ressaltar que o processo possui três níveis de abstração, como apresentado na Figura 23. De acordo com Romeiro (2010), o nível de abstração de informações em um PDP tende a diminuir conforme o decorrer do desenvolvimento do

produto, já que os comportamentos das atividades estão melhor definidos. Os três níveis são utilizados para relacionar o projeto de desenvolvimento de produto da empresa com o projeto do cliente. O primeiro nível refere-se ao modelo genérico e padrão de fases e *gates*, conforme Rozenfeld *et al.* (2006). No segundo nível, é realizado o detalhamento em atividades e tarefas, bem como o sequenciamento para execução do projeto, baseado nas melhores práticas do PMBOK (2001). No último nível e mais inferior, cada atividade ou tarefa é descrita detalhadamente por meio de elementos textuais, incluindo-se *inputs*, *outputs*, recursos e pacotes de trabalho, onde foi possível de fato, identificar as ferramentas computacionais utilizadas no processo em questão.

Figura 23 – Níveis do processo de desenvolvimento do produto.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Devido aos vários tipos de projeto, optou-se por analisar os processos de projetos de cliente, já que é o mais comum na empresa, iniciando na fase de desenvolvimento e terminando no cancelamento do produto.

Conforme a evolução da análise criou-se a matriz representada na Figura 24, na qual as linhas indicam o número da atividade e a descrição do pacote de trabalho e as colunas

indicam os documentos ou *softwares* encontrados, sendo marcados com um “X”, a relação entre linhas e colunas.

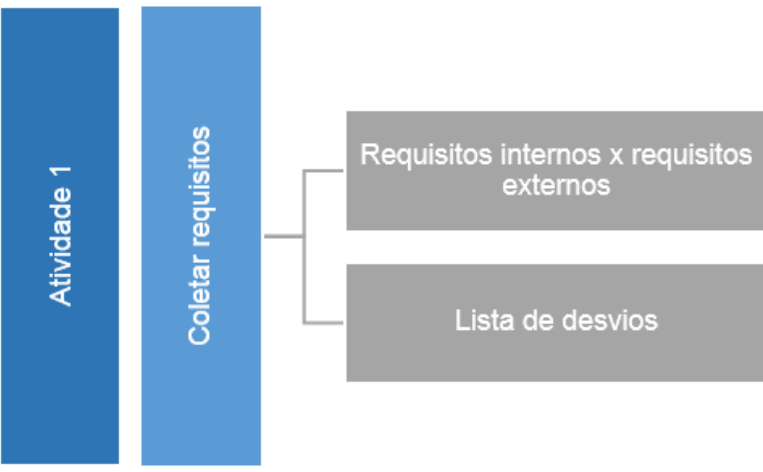
Figura 24 – Matriz para análise das ferramentas.

Identificação	Área	E G G G G P P P P P E																																												
		Documento 1	Software 1	Documento 2	Documento 3	Documento 4	Documento 5	Documento 6	Documento 7	Documento 8	Documento 9	Software 2	Documento 10	Documento 11	Documento 12	Documento 13	Documento 14	Documento 15	Documento 16	Documento 17	Documento 18	Documento 19	Software 3	Documento 20	Documento 21	Documento 22	Documento 23	Documento 24	Documento 25	Documento 26	Documento 27	Documento 28	Documento 29	Documento 30	Documento 31	Software 4	Documento 32	Documento 33	Software 5	...						
1	Atividade 1											X	X											X												X	X									
2	Atividade 2					X																		X																						
3	Atividade 3																								X													X	X							
4	Atividade 4																												X						X											
5	Atividade 5							X					X	X			X		X										X											X	X					
6	Atividade 6									X																																				
7	Atividade 7										X																																			
8	Atividade 8																										X																			
9	Atividade 9																											X																		
10	Atividade 10																																													
11	...																																													

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Ao término da análise foi possível encontrar 36 *softwares* e 54 documentos, seguindo o seguinte exemplo da Figura 25, que para realizar a Atividade 1, responsável por coletar os requisitos do cliente, são usados os documentos requisitos internos x requisitos externos e lista de desvios.

Figura 25 – Exemplificação da matriz.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

4.2 Análise e Diagnóstico do Processo

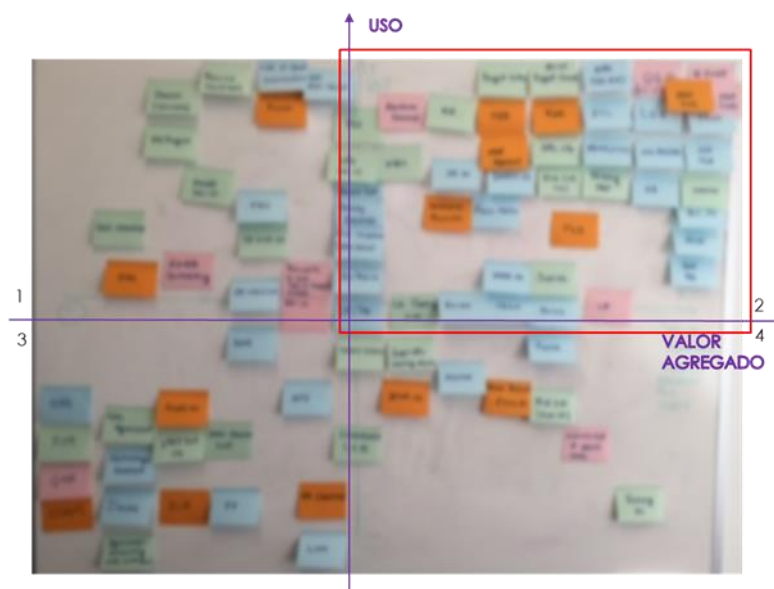
Inicialmente, as ferramentas computacionais e documentos foram separados por áreas de atuação, sendo elas: engenharia (E), gerência de projeto (G), qualidade (Q), compras (C) e manufatura (P) para uma melhor organização do trabalho.

Devido ao alto número de *softwares* e documentos encontrados, foi feita uma discussão prévia com alguns profissionais da área de projetos, resultando na proposta de organizar as ferramentas e documentos encontrados por quantidade de uso e valor agregado.

Conforme apresentado no item 2.1.3 do capítulo de revisão bibliográfica, os principais desperdícios no escritório podem ser classificados em quatro categorias: pessoas, processos, informações e bens materiais. Portanto, com essa organização já foi possível identificar desperdícios referentes às informações representadas pelos *softwares* e documentos que foram classificados nos quadrantes 1 e 3 conforme ilustra a Figura 26.

Porém, partindo para a ótica da integração presente no conceito de indústria 4.0, enfatizou-se nas ferramentas de TI que ocuparam posições no quadrante superior direito, ou seja, as de alto uso e alto valor agregado para dar continuidade ao trabalho.

Figura 26 – Classificação das ferramentas.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Apesar dos desperdícios identificados nas ferramentas computacionais que foram classificadas nos quadrantes 1 e 3 da Figura 26, foi definido não trabalhar com elas, pois muitos documentos tem origem na matriz da empresa e não podem ser alterados.

Entretanto, em paralelo ao trabalho em questão, ocorreram *workshops* para entender o motivo de haver ferramentas com alto valor agregado e que não estavam sendo utilizadas, e ferramentas de alto uso e baixo valor agregado. Todavia, tais resultados não serão apresentados neste trabalho, resultando em um projeto a ser concluído posteriormente.

4.3 Mapeamento do fluxo de informações processo atual

As informações utilizadas para o mapeamento do processo foram coletadas em entrevistas exploratórias com representantes da engenharia de desenvolvimento de produtos, compradores, engenheiros de manufatura, engenheiros de qualidade e vendedores. Cada um dos documentos e ferramentas encontrados foi estudado, visando entender o fluxo de informações dos mesmos, ou seja, quais eram os seus *inputs* e os seus *outputs*. Para tanto, na análise das ferramentas foram respondidas as seguintes questões:

- Quais são os eventos que iniciam o processo?
- Quando o processo acaba, quais são os resultados esperados?
- Quais são os documentos associados ao processo?
- Quais são as principais atividades a serem realizadas?
- Quem executa essas atividades?
- Quais são as principais interfaces com outros processos?
- Quais são os sistemas informatizados ou aplicações que dão suporte ao processo?

Após o entendimento e compilação do fluxo de dados coletado, foi realizado o mapeamento das ferramentas, através do *Software Bizagi Modeler*, originando os resultados ilustrados na Figura 26.

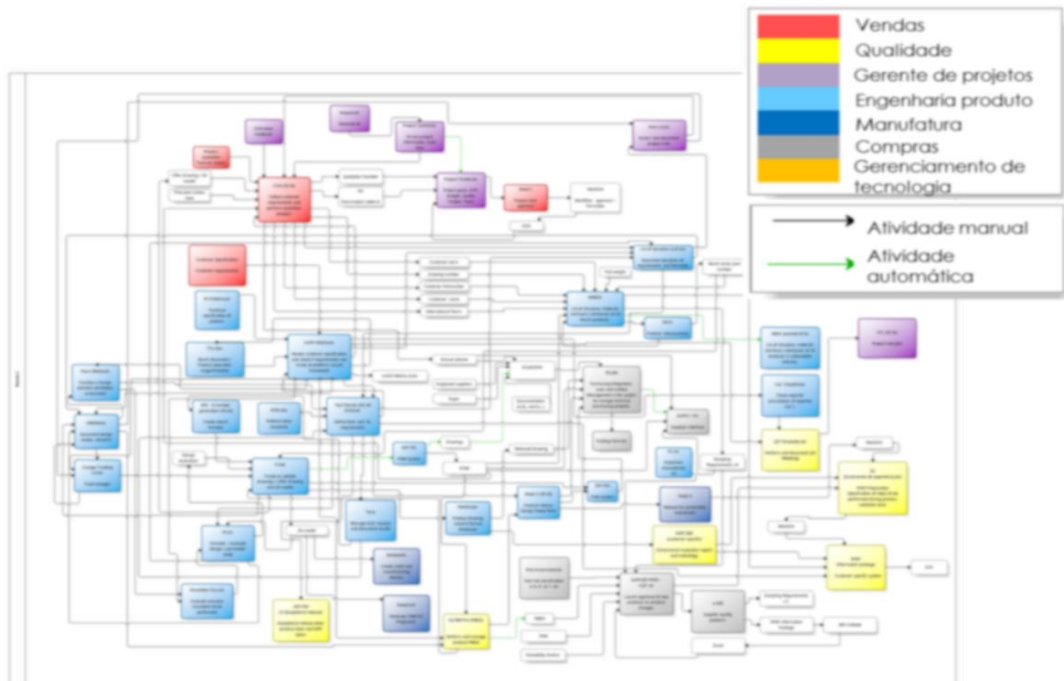
Nota-se que não há uma ordem cronológica de realização de atividades, já que neste momento, a relação entre as atividades é mais importante.

Após uma análise crítica do fluxo de informação da Figura 27, é possível concluir que a relação entre o fluxo de informações das ferramentas de TI e documentos mapeados é muito complexa. Portanto a atividade de mapeamento deu-se por encerrada após cerca de 55% de todos os documentos terem sido mapeados, pois a informação gerada com o mapeamento não resultaria em dados tangíveis o suficiente para um estudo posterior.

No geral, não há integração de informações entre as ferramentas e documentos, ou seja, muitas informações são transferidas manualmente nas várias atividades executadas pelos diversos setores da empresa, aumentando a probabilidade de divergência entre os sistemas.

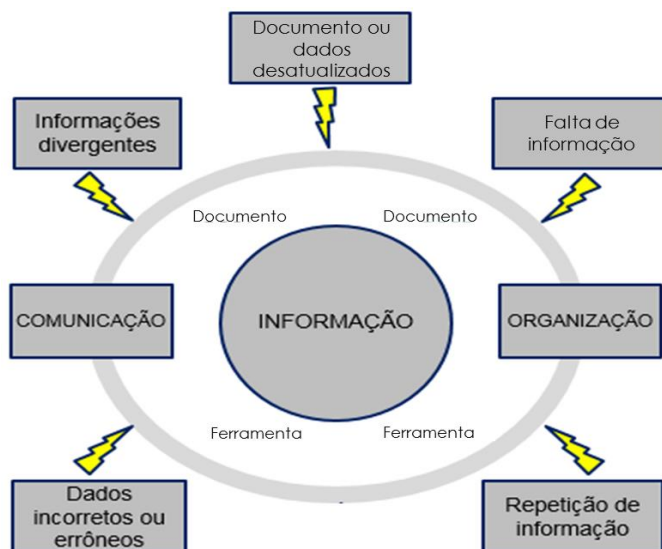
Desta forma, foram identificados desperdícios no fluxo de informações, causados por falta de informação, repetição de informação, dados incorretos, informações divergentes e documentos desatualizados, conforme ilustra a Figura 28.

Figura 27 – Mapeamento do processo atual.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Figura 28 – Desperdícios do fluxo de informação.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

4.4 Elaboração da DSM

Devido à complexidade encontrada, foi necessário entender melhor o processo, ou seja, realizar uma análise crítica de modo a filtrar mais as informações contidas na Figura 27. Verificou-se que o mapeamento prévio envolveu muitos *softwares* que não se enquadravam no domínio da engenharia, ou seja, eram de responsabilidade de outras áreas, e por isto, não poderiam ser alterados ou eliminados, além de também fazerem parte de diferentes fases do projeto e não seguirem uma ordem cronológica lógica. Ao término deste mapeamento e com todas essas variáveis listadas optou-se por diminuir o escopo do projeto, atuando de maneira árdua no quadrante em que as ferramentas com alto uso e alto valor agregado foram classificadas, passando o projeto a focar somente em atividades de engenharia e até o fechamento do *design* do produto.

Para dar suporte no entendimento das informações coletadas, optou-se pelo uso da ferramenta DSM, no qual as suas linhas representam os *inputs* para o processo, e as colunas os *outputs*. Este método foi utilizado para que um dos resultados da DSM, o *cluster*, fosse atingido, de modo que atendesse a necessidade da equipe e não distorcesse nenhum cenário. O processo de *clustering* e a sua lógica de programação é detalhado de maneira mais técnica no capítulo de revisão bibliográfica.

Ao todo foram mapeados 21 documentos e 5 *softwares* conforme contextualizado de forma gráfica na Figura 29, e posteriormente compilado em formato de dados na Tabela 5, para melhor detalhamento e identificação dos grupos.

Figura 29 – DSM.

PARTITIONED DSM	2	3	7	15	22	23	8	9	12	13	10	1	4	5	17	11	16	18	6	21	25	24	26	14	19	20
	Requisitos do cliente	Requisitos internos	Catálogo de testes	Guideime de simulação	Testes de itens comprados	Descrição dos testes	Lista de desvios	Requisitos do cliente x interno	Matriz de requisitos	DRBFM	D-FMEA	BOM	CAD	Desenho de oferta	Softwares de simulação	Árvore de falha	Plano de simulação	Lista de características especiais	Desenho do produto	Testes para produção na série	Documentação técnica para o cliente	Plano de testes	Lista de rastreabilidade de mudanças	Relatório de desenvolvimento	Planilha de características especiais	Plano de controle
Requisitos do cliente	2	2																								
Requisitos internos		3																								
Catálogo de testes			7																							
Guideime de simulação				15																						
Testes de itens comprados					22																					
Descrição dos testes						23	1																			
Lista de desvios							8	1	1	1																
Requisitos do cliente x interno		1	1					1	9																	
Matriz de requisitos								1	1	12	1															
DRBFM								1	1	1	13	1														
D-FMEA								1	1	1	10	1	1	1				1								
BOM												1	1	1					1	1	1					
CAD					1								4	1					1			1	1			
Desenho de oferta														5												
Softwares de simulação										1	1				17	1	1									
Árvore de falha																11										
Plano de simulação																	16									
Lista de características especiais																		18	1							
Desenho do produto																				6						
Testes para produção na série						1															21					
Documentação técnica para o cliente																						25				
Plano de testes																							24			
Lista de rastreabilidade de mudanças																								26		
Relatório de desenvolvimento																									14	
Planilha de características especiais																										19
Plano de controle																										20

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Tabela 5 – Detalhamento dos blocos de agrupamento.

Grupos	Identificação de documentos
Bloco 1	23; 8
Bloco 2	8; 9; 12; 13
Bloco 3	13; 10
Bloco 4	10; 1; 4; 5; 17; 11; 16; 18
Bloco 5	1; 4; 5; 17; 11; 16; 18; 6; 21; 25

(Fonte: Elaborado pelos autores)

4.5 Análise da DSM

Ao fim da execução da DSM obteve-se 5 blocos do *clustering*. Conforme descrito na Tabela 5, o bloco 5 foi o que apresentou um agrupamento maior, totalizando 10 itens, seguido pelo bloco 4 com 8 itens, ambos contendo atividades relacionadas ao *design* do produto. Os blocos 1 e 3 totalizaram dois itens cada, ambos existem devido à uma iteratividade entre as ações, ou seja, dependem diretamente um do outro. Já os *softwares* e documentos que não pertencem a nenhum bloco, são ferramentas que não possuem iteratividade.

Apesar de não ser o foco do trabalho, a DSM também entregou uma ordem cronológica de realização das atividades, entendendo a dependência entre as mesmas.

Note que em um processo futuro de integração, a análise de ferramentas que participam de mais de um bloco, conhecidas por ferramentas mútuas, são tidas como chave e elemento de ligação para a continuidade do fluxo de informação, sendo elas um elo muito importante para o processo de forma macro.

O bloco 2, contendo 4 itens será o bloco a ser desenvolvido a otimização, devido a sua menor complexidade e por representar o início do processo de desenvolvimento do produto. Esta solução é tida como a mais imediata e engloba ferramentas e documentos associados aos requisitos do produto:

- Lista de desvios: lista de requisitos solicitados pelo cliente que não serão atendidos, gerando um desvio.
- Requisitos do cliente x requisitos internos: comparação entre todos os requisitos solicitados pelo cliente e os requisitos que o produto desenvolvido pela organização será capaz de atender.
- Matriz de requisitos: matriz que correlaciona os requisitos com as funções do produto, ou seja, se há conhecimento de como o requisito funciona dentro do produto. A principal ideia é identificar e salientar os diferentes potenciais de risco em funções desconhecidas, classificando-os em verde (conhecimento da função), amarelo (conhecimento quase total da função), laranja (baixo conhecimento da função) e vermelho (sem conhecimento da função).
- DRBFM: (*Design Review Based on Failure Mode*, do inglês), é um método para descobrir problemas e desenvolver medidas preventivas notando e discutindo modificações intencionais e modificações incidentais. O método encoraja a habilidade em achar problemas através da avaliação de *design*. O método garante que os produtos mantenham a alta qualidade mesmo após modificação.

Após a definição de qual bloco seria trabalhado primeiramente, houve um mapeamento do processo de forma micro. Devido à similaridade, a lista de desvio e requisitos do cliente x requisitos internos serão convergidos e um mesmo documento, já que um representa um documento externo à empresa e o outro interno, consecutivamente.

4.6 Mapeamento e simulação do estado atual do processo

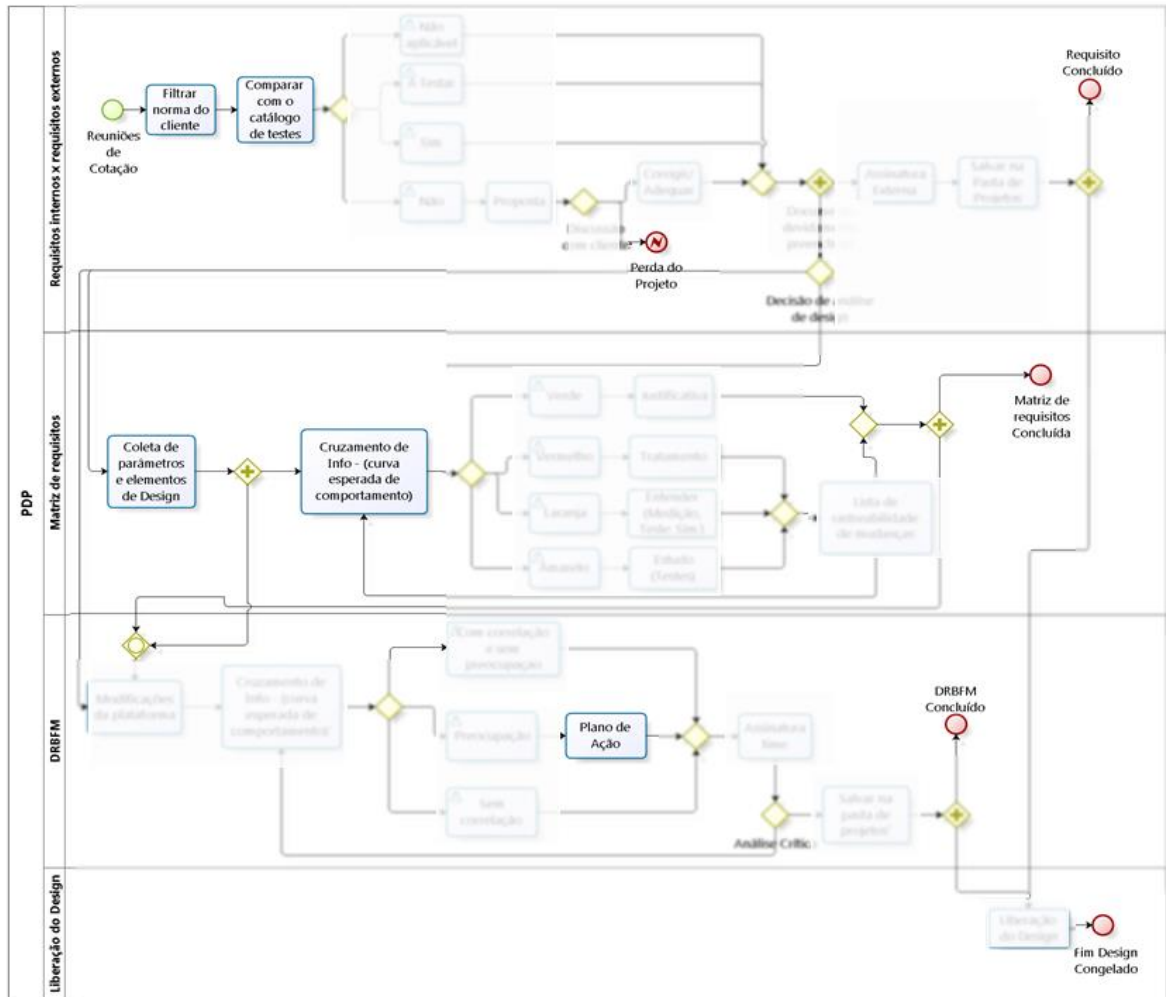
A primeira atividade nesta etapa é criar o modelo *As-Is* do processo, que segundo White e Miers (2008), serve para identificar o estado atual do processo, e a partir dessa análise vem a fase *To-Be*, que mostra como o processo ficará. A criação do modelo *As-Is* a um nível de granularidade facilita a resolução dos problemas com os atuais recursos de engenharia e processo, assim como seu gerenciamento, incluindo tarefas decisivas e responsabilidades.

Este mapeamento é um desenho do processo atual, visando entender como funciona o fluxo de informações de modo micro das quatro ferramentas descritas na etapa anterior. Esse fluxo fornece a visão das atividades executadas pelos funcionários no dia a dia e cria uma base para estudos, que gera uma análise do estado atual.

A partir dessa análise foram identificadas alternativas de solução para os problemas do processo, apontando os processos prioritários para implantação. Após essas etapas foram feitas reuniões periódicas para acompanhamento e validação do processo desenhado, acrescentando o fim do processo, também conhecido por liberação do *design*, utilizando a linguagem BPM-N e novamente, para coletar as informações, entrevistas foram realizadas.

- Quais são os eventos que iniciam o processo?
- Quando o processo acaba, quais são os resultados esperados?
- Quais são as principais atividades?
- Qual é a sequência de atividades?
- Quais são as principais interfaces com outros processos?
- Quais são as restrições?
- Quanto tempo você leva para realizara atividade em casos mais simples? E em casos mais extremos?
- Nesta divisão de atividades, qual a probabilidade de isto acontecer?

Figura 30 – Mapeamento do Estado Atual.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

O mapeamento mais detalhado através do BPM-N representado na Figura 30 proporcionou um melhor entendimento sobre como funciona o fluxo de informações na própria ferramenta e em qual ponto há convergência de informações. Facilitou na compreensão dos processos mais complexos, além de identificar o nível de maturidade das atividades dentro da empresa, onde estão as falhas, gargalos e o que precisa ser melhorado.

Cada *lane* contido na Figura 30, tem seu próprio início e término, identificado pelas circunferências verdes e vermelhas, consecutivamente, sendo que é possível observar que o processo inicia somente em uma instância, mas pode ser encerrado de mais de uma forma, conforme no primeiro *lane*, onde o documento pode estar concluído, ou ocorre a perda do projeto. Todos também possuem uma saída para a liberação do *design*, no qual todas as informações são compiladas e ocorre a finalização desta etapa do projeto.

Cada um dos trapézios, representam decisões no processo, divisões de atividades ou convergência de atividades. Aqueles que contém o símbolo de “+”, representam atividades que serão feitas em paralelo, e o que possui “O”, significa que as duas atividades que estão sendo recebidas e não dependem do término da outra para dar continuidade, ou seja, a coleta de parâmetros irá para a próxima etapa, antes da lista de rastreabilidade de mudanças.

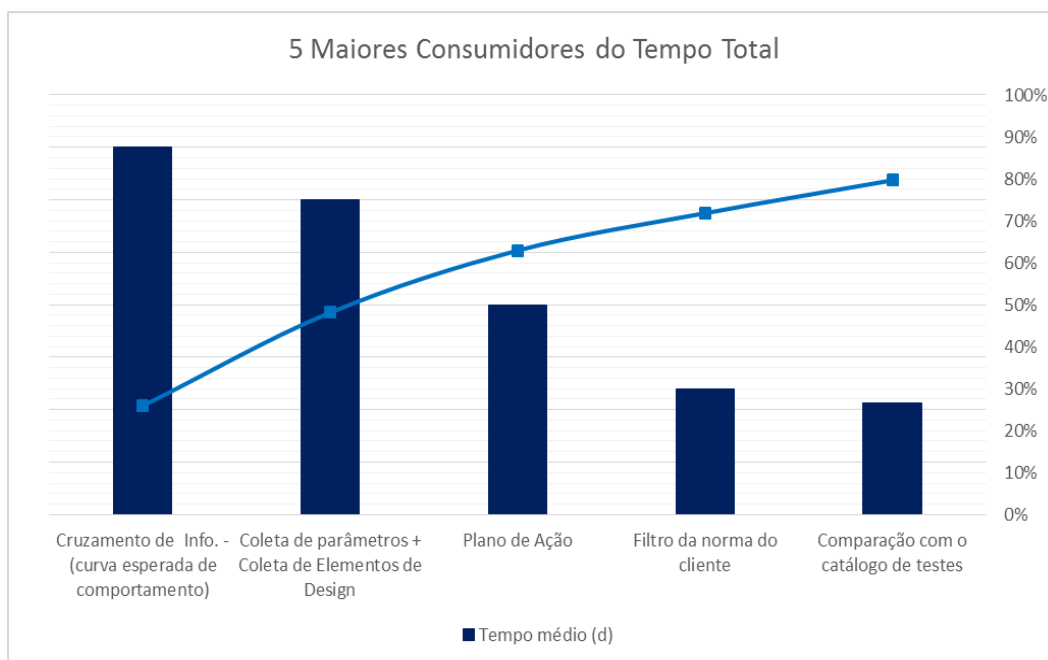
A atividade “Filtrar a norma do cliente”, consiste em entender todos os requisitos que o cliente pede que o produto atenda e comparar com os requisitos que o produto realmente atende. “Comparar com o catálogo de testes”, representa uma análise entre todos os testes que o cliente pede que sejam realizados, e os testes que a empresa consegue realizar. Ambos resultam em concordância ou discordância com o que o cliente está pedindo.

A “Coleta de parâmetros e elementos de *design*” visa obter e inserir todos os requisitos acordados e uma visão explodida do desenho prévio do produto, que será ofertado, no novo documento. O “Cruzamento de informação (curva esperada de comportamento)” representa a relação entre os requisitos e o desenho explodido, procurando entender o comportamento de um elemento do desenho sob o requisito que deverá atender. Já o “Plano de ação”, consiste em uma série de atividades que deverão ser realizadas ou para garantir a qualidade do produto sob alguma modificação ou caso haja um não entendimento de como o elemento do desenho se comporta dentro daquele requisito.

Foi realizada também uma simulação do processo, no próprio *software* Bizagi Modeler, para poder identificar os gargalos. Devido à grande variedade de tipos e duração de projetos, foi considerado o tempo que cada atividade leva para casos mais simples e casos mais extremos. Para isso foi usada uma curva normal truncada, onde o tempo mínimo e máximo de cada atividade, média e desvio padrão são informados. Para cada um dos trapézios, foram considerados probabilidades de ocorrência para cada uma das divisões, baseadas na frequência com que tal atividade é realizada pelos engenheiros. Por motivos de confidencialidade, a duração de cada atividade, o tempo total do processo e as probabilidades foram omitidas.

Com o resultado encontrado, gerou-se um gráfico de Pareto com os 5 maiores consumidores do tempo total por atividade, e para isso, foi utilizado o tempo médio das atividades calculadas pelo próprio software. Os resultados se encontram na Figura 30.

Figura 31 - 5 Maiores Consumidores do Tempo Total.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

É possível observar que 5 das 31 atividades, desenhadas na Figura 31, são detentoras de 80% do tempo gasto.

De acordo com a McKinsey & Company (2015), o gerenciamento da cadeia digital é composto por quatro atividades que são pré-requisitos para a criação de valor da informação: obtenção e armazenamento, transferência, processamento e por fim, a transformação da informação em resultados. Exceto pelo plano de ação, todas as atividades estão igualmente relacionadas à obtenção de informações dos seus locais de armazenamento e seu posterior processamento. Analisando o mapeamento do processo é possível ver também que há problemas com a transferência de informação, já que a mesma é utilizada em vários locais. Logo, estes são os gargalos e, portanto, estas atividades deverão ser melhoradas, já que para a integração das ferramentas é primordial que o processo esteja o mais enxuto possível.

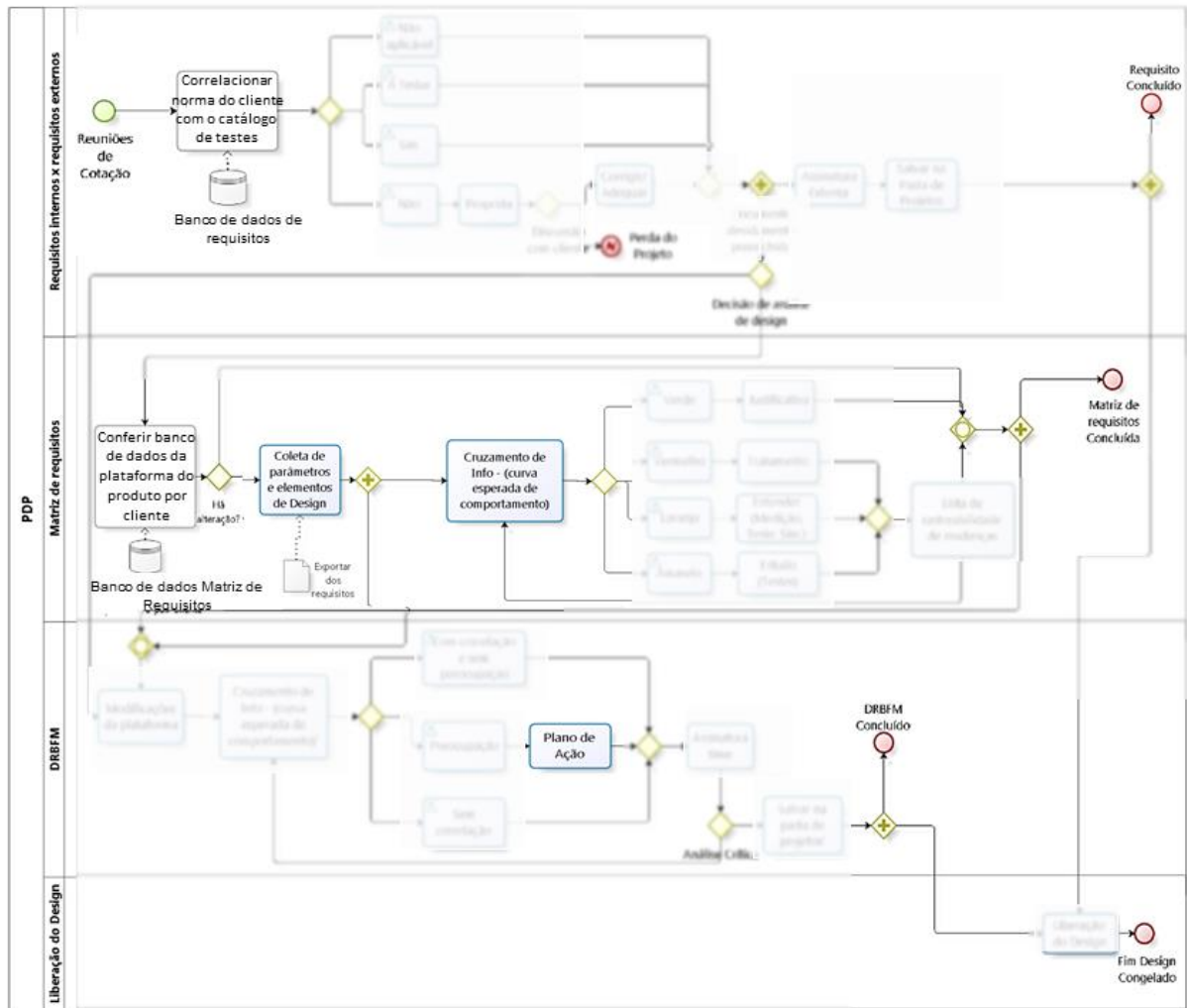
4.7 Arquitetura e simulação do processo futuro

De acordo com a McKinsey & Company (2015), para transformar o estado atual com uma visão de indústria 4.0, é necessário perguntar: quais são as ineficiências do processo atual poderiam ser eliminadas fazendo um melhor uso da informação? Essas informações já estão disponíveis? Senão, onde são geradas? Isto porque a informação em si, não possui valor inerente, logo toda coleta de dados deveria ser abordada com o objetivo de

maximização de valor. Portanto, é preciso prestar atenção para condutores de valor concreto em toda a empresa, ou seja, áreas onde as ineficiências ocorrem devido a desvios de informação.

Com isto em mente, foi feita a seguinte proposta, conforme Figura 32.

Figura 32 – Proposta Estado Futuro.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Ao todo foram feitas 3 grandes modificações nos processos, identificadas pela cor branca na Figura 32. No primeiro *lane*, as duas primeiras atividades foram substituídas por uma única, a qual terá acesso a um banco de dados, assistida por um *software*, cujo nome permanecerá omitido por questões de confidencialidade. Essa ferramenta entrega automaticamente o cruzamento de dados do cliente com as especificações do produto, bastando apenas uma conferência e possíveis atualizações.

Já no segundo *lane*, houveram duas modificações: foi acrescentado uma tarefa, e houve a alteração do modo de realização da outra. O *software* mencionado atinge e auxilia as duas modificações através do banco de dados mencionado anteriormente. A tarefa adicionada procura na base de dados um documento que contenha os requisitos e *designs* desejados, apenas para questão de conferência. Caso não seja necessária nenhuma modificação do documento, o mesmo já estará encerrado. Caso seja necessário acrescentar alguma informação, um estudo deverá ser feito e conseqüentemente inserido na base de dados para posterior uso. Com a inserção do *software*, a tarefa que foi alterada, muda apenas em questão de tempo de realização, reduzindo-o praticamente pela metade.

Note que primeiramente haverá um trabalho de criação de banco de dados, no qual todos os documentos deverão ser inseridos na base de dados.

Após a finalização das alterações, uma nova simulação foi realizada. Para efeitos de veracidade e compatibilidade com a primeira, foi assegurado, que após o término da simulação, os mesmos tipos de caminho foram seguidos, para que o tempo médio das atividades não seja deturpado. Por exemplo, garantir que nas duas simulações, um projeto fosse perdido no primeiro *lane*, encerrando as atividades antes do tempo, ou que no segundo *lane*, ao menos um projeto realize uma das fases de estudos.

4.8 Análise de ganhos

Analisando a duração de cada processo, foi possível observar uma redução de 21,68% do tempo total. Considerando o valor da hora do engenheiro de desenvolvimento de produto, menos a licença do *software* de €121, resulta em uma economia de aproximadamente R\$76.957,44 por ano, considerando 70 engenheiros. Adicionalmente, o uso do *software* será expansivo, garantindo a melhoria de outras áreas do processo de desenvolvimento do produto.

De acordo com a McKinsey & Company (2015) é possível também identificar oportunidades na cadeia digital no processo e sua qualidade e no tempo de mercado, onde há possíveis potenciais sistêmicos para a indústria 4.0. Isso porque a velocidade com que o processo ocorre aumentou, a qualidade melhorou através da eliminação de problemas durante o processo de criação de valor, evitando retrabalho por má interpretação de requisitos, que conforme Baxter (2000) explica, o custo de modificação aumenta exponencialmente com o decorrer do projeto. E por fim, houve a diminuição do *time-to-market*, ou seja, chegar ao mercado com um novo produto anteriormente ou entregar um produto mais rapidamente ao cliente, cria valor adicional através do aumento das receitas e potenciais vantagens de mercado e pioneirismo, ganhando competitividade econômica.

5 CONCLUSÃO

Com a tecnologia cada vez mais presente no cotidiano do meio corporativo, a valorização das informações e a capacidade de manuseá-las passam a ser um fator tão importante senão até maior do que as próprias melhorias nos ciclos produtivos diretos, a fim de apoiar a tomada de decisão. Entretanto a busca constante para a análise dessas informações e mapeamento dos processos requer uma grande quantidade de mão de obra e tempo, devido à minuciosidade e necessidade de veracidade das informações. Organizações que buscam mapear estes processos de modo a reduzir *inputs* redundantes, com baixo valor agregado e a integração de sistemas passam a ter vantagem competitiva em relação aos concorrentes.

Nesse sentido, este trabalho foi realizado com o objetivo de introduzir o conceito da Indústria 4.0 em um processo administrativo, mais especificamente no processo de desenvolvimento do produto da empresa estudada. Fundamentando-se nesse objetivo, foi possível reduzir o tempo do processo de desenvolvimento do produto, através de alterações no fluxo de informações do processo, eliminando uma série de desperdícios e garantindo uma estrutura que possibilite a integração total do processo sob a ótica da Indústria 4.0.

Para que o objetivo do trabalho fosse atingido, foi necessário utilizar métodos e ferramentas como o BPM, através do *software* Bizagi, onde foram realizados mapeamentos e simulações, e a DSM, responsável pela diminuição da complexidade e a indicação de onde atuar na integração das informações. Além desses métodos e ferramentas, só foi possível desenvolver esse estudo de forma eficaz, através do entendimento dos conceitos de produção enxuta e de engenharia do produto.

Também foi necessário à implementação de um *software* para a melhoria do fluxo de informações, o que demandou um investimento financeiro. Porém mesmo com o custo com licenças do *software*, a redução do tempo no processo, resultou em um ganho de R\$ 76957,44 por ano. Esse valor, apesar de significativo, não é tão expressivo se for analisado apenas o valor em si, mas se for levado em consideração que apenas 4,5% do processo foi analisado e melhorado, é possível determinar que o presente trabalho foi apenas o início de um projeto muito maior que leve à integração total do processo e consequentemente à ganhos financeiros extremamente expressivos.

Do ponto de vista acadêmico, um ganho importante do projeto, foi a criação de uma metodologia, com 5 etapas, para a integração de documentos e *softwares* e que pode ser expansível a todas as áreas da organização, conforme a seguir:

1. Análise e diagnóstico do processo atual
2. DSM *clustering*

3. Mapeamento da arquitetura atual
4. Definição da arquitetura futura
5. Checar ganhos com projeto piloto

Portanto, pode-se concluir que os objetivos do trabalho foram atingidos, onde foi possível introduzir o debate sobre Indústria 4.0 em um processo administrativo, quebrando o paradigma de algumas empresas de que a “fábrica do futuro” só necessita de mudanças nas áreas fabris. Confirmando que ganhos com a integração de informações podem ser tão importantes quanto ganhos em melhorias nos processos físicos.

Além disso, é importante ressaltar que o conhecimento adquirido durante a formação acadêmica, fez com que o trabalho desenvolvido lograsse êxito, já que a visão sistêmica dos profissionais de engenharia de produção possibilita que os mesmos possam utilizar as ferramentas e tecnologias existentes com o intuito de criar e decidir o futuro das organizações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPRO. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 28 Fev. 2016.

ALMEIDA, L.F.; MIGUEL, P.A.C.; CARVALHO, M.M. de. Aplicação do gerenciamento de projetos no processo de desenvolvimento de novos produtos – um caso exploratório. **Produto & Produção**, vol. 9, n. 2, jun, 2008, p. 153-166.

AMARAL, C.D.; ROZENFELD, H. **AINTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED'07**. Cite Des Sciences Et de L'industrie, Paris, France Integrating New Product Development Process References With Maturity And Change Management Models Integrated Engineering Group - São Carlos School of Engineering / Sao Paulo Universit, Brazil, 2007.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para design de novos produtos**. São Paulo: Edgar Blücher, 2000.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. n. p. 2014.

BROWNING, T. R. **Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions**. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 48, no. 3, August 2001.

CAPTERRA. **The Smart Way to Find Business Softwares** - Top Business Process Management Softwares Products, 2016. Disponível em: <<http://www.capterra.com/business-process-management-software/>>. Acesso em: 10 Abr. 2016.

CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry**. Boston-Mass, Harvard Business School Press, 1991.

CMMI for Development, version 1.3, **Carnegie Mellon University**, November 2010, p. 27-29.

CRAWLEY E. **MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY**. System Architecture IAP Lecture 6, 2007. Disponível em: <<http://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-34-system-architecture-january-iap-2007/lecture-notes/lec6.pdf>>. Acesso em: 15 Abr. 2016.

CRUZ, T. **Business Process Management & Business Process Management Systems**. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

DANILOVIC, M.; BROWNING, T.R. **Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices**. International Journal of Project Management 25, 2006, p. 300-314.

DAVENPORT, T. H; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial**. Tradução de Lenke Peres. Rio de Janeiro: Campus São Paulo: Publifolha, 1998.

DAVIES, R. **Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth**. EPRS: European Parliamentary Research Service, 2015.

DAVIS, R.; BRABANDER, E. **Aris Design Platform, Getting Started with BPM**. London: Springer, 2007.

DELOITTE. **Industry 4.0**. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, designed and produced by The creative Studio at Deloitte, Zurich, 2015. Disponível em <<http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>>. Acesso em 03 Fev. 2016.

DONG, Q. **Representing Information Flow and Knowledge Management in Product Design Using Design Structure Matrix**. MIT Mechanical Engineering Master of Science degree thesis, 1999.

ERLACH, K. **Value stream design: The way towards a lean factory**. Berlin, New York, Springer, 2013.

EPPINGER, S.; BROWNING, T. R. **Design Structure Matrix Methods and Applications**. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2012.

GHINATO, P. **Competitividade: Aplicações e Inovações**. Ed. Adiel T. de Almeida & Amp; Fernando M. C. Souza, UFPE, Recife, 2000.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta: um processo de melhoria contínua**. São Paulo: Iman, 1986.

GUIDE, A. Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE). **Project Management Institute**. 2001.

IMAI, M. **Gemba Kaizen: uma abordagem de bom senso à estratégia de melhoria contínua**. Tradução: Rodrigo Dubal; Revisão técnica: Altair Flamarion Klippel; Coordenação: José Antonio Valle Antunes Junior. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2014, p.86-89.

HALLA, Victor Barros. **Apostila de Gerenciamento de Projetos de TI**. São Paulo: [s.n.], 2010.

HONG, P.; VONDEREMBSE, M.A.; DOLL, W.J.; NAHM, A.Y. **Role change of design engineers in product development**. The University of Toledo, College of Business Administration, 2801 W. Bancroft St. Toledo, USA, University of Wisconsin, Eau Claire, 2005.

KAGERMAN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Final report of the Industrie 4.0. Working Group, 2013. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 28 Abr. 2016.

KALPIC, B.; BERNUS, P. **Business process modelling in industry – the powerful tool in enterprise management**. Computers in Industry, v. 47, 2002, p. 299-318.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. **Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies**. IFAC-PapersOnLine, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.

LAREAU, W. **Office Kaizen: transforming office operations into a strategic competitive advantage.** USA: ASQ Quality Press, 2002.

LE COADIC, Y.F. **O objeto: a informação.** In: LE COADIC, Y.F. A ciência da informação. 2. ed. Brasília: Briquet de Lemos, 2004. p. 3-11.

LINS, T. **Industria 4.0.** iMobilies, 2015. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/imobilis/industria-4-0-desafios-parte-1/>>. Acesso em: 28 Fev. 2016.

MAURER, M.; BRAUN, T.; LINDEMANN, U. **Structural Complexity Management: An approach for the field of Product Design.** Germany: Springer, 2009.

MAURICI, E. **Uma atividade em constante transformação.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MCKINSEY & COMPANY. **Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector.** McKinsey Digital, 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.de/sites/mck_files/files/mck_industry_40_report.pdf>. Acesso em: 28 Abr. 2016.

MCMANUS, H. **Product Development value stream analysis and mapping manual (PDVMS) – Alpha Draft.** Lean Aerospace Initiative. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2005.

MORGAN, J.; LIKER, J.K. **The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and Technology.** Taylor & Francis, 25, 2006.

NEIVA, E. G.; D'Elia, M. E. S. Elizabete Silva. Secretária Executiva. São Paulo: IOB A. Thomson (Coleção Cursos IOB), 2005.

OHNO, T. O. **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PAGAN, R. P.; SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. Projeto Conceitual no Processo de Desenvolvimento de Produtos Eletroeletrônicos: Estudos de Caso em Empresas Incubadas. **Revista Produção Online.** Florianópolis, SC, v.13, n. 3, 2013, p. 1089-1117.

PIMMLER, T. U.; EPPINGER, S. D. **Integration analysis of product decompositions.** Cambridge, Mass., Alfred P. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, 1994.

PLATFORM INDUSTRY 4.0. **Acatech-Plattform Industrie 4.0.** Industrie 4.0 - Whitepaper FuE Themen, 2013. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 02 Abr. 2016.

ROMEIRO, E. F.; VASCONCELLOS, C. F.; CAUCHICK, P. A. M.; PEREIRA, R. G.; MANFREDI, R. N. **Projeto do produto.** São Paulo: Elsevier Editora LTDA, 2010, p.138-139.

ROSSITTI, B. S. **Melhoria de processo por meio do Lean Project Management: um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de curso. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L., ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K . **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.** Boston Consulting Group, 2015.

SERBANATI, A.; MEDAGLIA, C. M.; CEIPIDOR U. B. **Building Blocks of the Internet of Things: State of the Art and Beyond, Deploying RFID - Challenges, Solutions, and Open Issues,** Dr. Cristina Turcu, InTech, 2011, p. 351-365.

SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. **Smart factories in industry 4.0:** A review of the concept and of energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). International Conference on, 2014, p. 697–701.

STEWART, D. V. **Systems Analysis and Management, Structure, Strategy, and Design.** Petrocelli Books, Inc., 1981.

VYATKIN, V., SALCIC, Z.; ROOP, P. S.; FITZGERALD, J. Now That's Smart! **Industrial Electronics Magazine**, vol. 1, n. 4, 2007, p. 17–29.

WHITE, S.A.; MIERS, D. **BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN.** Florida: Future Strategies Inc. 2008.

WOMACK, J. P; JONES, D. T.; ROOS, D. A. **A Máquina que mudou o mundo.** São Paulo: Campus, 1992.

WOMACK, J. P; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** Tradução de Ana Beatriz Rodrigues, Priscilla Martins Celeste. Rio de Janeiro: Campus, 1998, p.3 a 93.