

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LARISSA MARIA PRISCO PINHEIRO

**APLICAÇÃO DA ABORDAGEM *LEAN* NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
DE PRODUTO EM EMPRESAS INDUSTRIAIS BRASILEIRAS**

SÃO CARLOS

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

LARISSA MARIA PRISCO PINHEIRO

**APLICAÇÃO DA ABORDAGEM *LEAN* NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
DE PRODUTO EM EMPRESAS INDUSTRIAIS BRASILEIRAS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Toledo

SÃO CARLOS

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

P654aa Pinheiro, Larissa Maria Prisco.
Aplicação da abordagem *lean* no processo de desenvolvimento de produto em empresas industriais brasileiras / Larissa Maria Prisco Pinheiro. -- São Carlos : UFSCar, 2014.
125 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Desenvolvimento de produtos. 2. *Lean Development*. 3. ESBC. I. Título.

CDD: 658.575 (20^a)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)
Email : ppgep@dep.ufscar.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Larissa Maria Prisco Pinheiro

TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA E APROVADA EM 10/12/2013 PELA
COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. José Carlos de Toledo
Orientador(a) PPGE/UFSCar

Prof. Dr. Alceu Gomes Alves Filho
PPGE/UFSCar
Prof. Dr. Sérgio Luis da Silva
DCI - PPGE/UFSCar
Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral
EESC/USP
Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi
DAC/UNICAMP

Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE

Ao
Buddy João,
meu eterno amigão.

AGRADECIMENTOS

À minha filha, Guiga Maria, por ser a motivação de todos os meus dias.

Ao que esse doutorado me trouxe de melhor: o prazer de ter conhecido e convivido com o admirável ser humano professor Dr. José Carlos de Toledo, com o qual aprendi, além de um profundo conhecimento técnico, lições de humildade, sabedoria, bondade e paciência.

À Leda Silveira, por ter me escolhido como filha.

Ao meu melhor amigo, professor Dr. Rinaldo Gregório Filho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de fomento durante parte do desenvolvimento desta Tese.

"O conhecimento vem e vai, mas a sabedoria permanece."

Alfred Tennyson

RESUMO

Diante dos movimentos das concorrências nacional e internacional, dos rápidos avanços tecnológicos, da diminuição do ciclo de vida dos produtos no mercado e das maiores exigências quanto à qualidade e aos serviços associados aos produtos, o desenvolvimento de produto se consolidou como um dos processos de negócio chave para o crescimento e a sobrevivência das empresas de diversos setores industriais e vem, ao longo dos anos, se transformando em uma poderosa fonte de competitividade para as empresas de diversos setores.

A Toyota desenvolveu e utiliza um modelo de desenvolvimento de produto considerado extremamente competitivo, que ajudou a transformá-la na maior montadora automobilística do mundo. Esse modelo, considerado uma referência mundial, é chamado de *Lean Development* e utiliza conceitos enxutos, derivados do *Lean Thinking*, no processo de desenvolvimento de produtos. Estudos estão sendo realizados, em âmbito internacional, a fim de caracterizar, avaliar e aplicar esse modelo em outras empresas, tanto do mercado automobilístico quanto em outros diferentes mercados.

Esta Tese apresenta os resultados obtidos por meio de uma pesquisa de campo tipo *survey*, realizado em empresas industriais situadas no Brasil. A população foi delimitada em empresas inovadoras, que possuem a área de desenvolvimento de produto na planta pesquisada e, ainda, o *Lean Manufacturing* implantado há pelo menos cinco anos. É apresentada uma análise descritiva das empresas analisadas e uma análise fatorial, a qual reduz as variáveis de pesquisa em quatro fatores contextuais do *Lean Development*. Uma análise de agrupamento entre os fatores identificados pela análise fatorial foi realizada, originando quatro agrupamentos de empresas, os quais foram classificados em relação ao processo de desenvolvimento de produto, de acordo com a literatura. Os resultados mostram que 38,2% da amostra pesquisada aplica os conceitos enxutos (princípios e ferramentas) da manufatura no processo de desenvolvimento de produto e aproximadamente metade da amostra pesquisada (46,9%) aplica somente os princípios enxutos na manufatura, mas não os migra para o processo de desenvolvimento de produto. No entanto, essas últimas são as que apresentam os melhores resultados em desenvolvimento de produto.

Palavras Chave: Desenvolvimento de Produto; *Lean Development*; ESBC; *Survey*.

ABSTRACT

Given the movement of national and international competitions, the fast technological advances, the reduction in life cycle of products on the market and greater demands for quality and services associated with products, product development has established itself as one of the business processes key to the growth and survival of businesses of various industrial sectors and has, over the years, becoming a powerful source of competitiveness for companies from various sectors.

Toyota has developed and uses a product development model considered extremely competitive, which helped make it the largest automobile manufacturer in the world. This model is called Lean Development and is a worldwide reference. The model uses lean concepts, derived from Lean Thinking, in the product development process. Studies in international scope are being conducted in order to characterize, evaluate and apply this model in other companies, either automotive market or others different markets.

This Thesis presents the results obtained by a survey carried out in manufacturing companies located at Brazil. The population was defined like innovative companies with product development area in the investigated site and with Lean Manufacturing applied for at least five years. It is presented a descriptive analysis of the companies analyzed and a factorial analysis, which reduces the research variables in four contextual factors of Lean Development. A cluster analysis of the factors identified by the factorial analysis was performed and four groups of companies were founded. The groups were classified in relation to the product development process, according to literature. The results show that 38.2% of surveyed sample applies lean concepts (principles and tools) in both production system and product development process and approximately a half of surveyed sample (46.9%) applies only lean principles in production system, but does not migrate these principles to product development process. However, these last companies are the ones with the best results in product development.

Key Words: Product Development; Lean Development; SBCE; Survey.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Categorias de desperdício de conhecimento (WARD, 2007).....	40
FIGURA 4.1 – Esquematização do modelo de pesquisa.....	53
FIGURA 5.1 – Dendograma estimado a partir da análise de <i>Cluster</i>	80

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1– Classificação do porte das empresas pesquisadas, de acordo com o IBGE ..	63
GRÁFICO 5.2 – Distribuição das empresas pesquisadas de acordo com a nacionalidade	64
GRÁFICO 5.3 – Área de atuação dos funcionários entrevistados.....	64
GRÁFICO 5.4 – Abrangência do escopo do PDP nas empresas avaliadas	65
GRÁFICO 5.5 – Distribuição das empresas pesquisadas de acordo com o mercado de atuação	66
GRÁFICO 5.6 – Classificação dos diferentes tipos de processo das empresas avaliadas.....	67
GRÁFICO 5.7 – Perfis dos <i>clusters</i> em relação aos resultados médios obtidos para cada fator	80
GRÁFICO 5.8 – Análise descritiva dos <i>clusters</i> em relação à nacionalidade.....	82
GRÁFICO 5.9 – Análise descritiva dos <i>clusters</i> em relação ao mercado de atuação	83
GRÁFICO 5.10 – Vetores obtidos por meio das variáveis analisadas	86
GRÁFICO 5.11 – Grupos formados pela análise discriminante dos fatores	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – Modelos de avaliação da implantação do <i>Lean Manufacturing</i> (TEIXEIRA, 2012).....	18
QUADRO 3.1 – Dispersão e suas consequências (Ward, 2007).....	42
QUADRO 3.2 – Aplicação das ferramentas da manufatura enxuta nos desperdícios do processo de desenvolvimento de produto (SALGADO et al., 2009)	43
QUADRO 5.1 – Fatores obtidos pela análise fatorial e suas respectivas variáveis	77
QUADRO 6.1 – Relação dos quatro fatores obtido na análise fatorial com o <i>Lean Development</i>	90
QUADRO 6.2 – Principais características dos <i>clusters</i> formados	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – Variáveis independentes e seus respectivos elementos	50
TABELA 4.2 – Variáveis dependentes e seus respectivos elementos	51
TABELA 4.3 – Correlação das variáveis de pesquisa com as questões do questionário	56
TABELA 5.1 – Análise descritiva do grupo B do questionário	68
TABELA 5.2 – Análise descritiva do grupo C do questionário	69
TABELA 5.3 – Análise descritiva do grupo D do questionário	70
TABELA 5.4 – Valores dos coeficientes de Pearson entre as variáveis de estudo	72
TABELA 5.5 – Resultados do teste de esfericidade de Bartlett.....	73
TABELA 5.6 – Comunalidades das variáveis analisadas antes e depois da aplicação da análise fatorial	74
TABELA 5.7 – Autovalores e variâncias explicadas pelos fatores extraídos da Análise Fatorial	74
TABELA 5.8 – Matriz de componentes rotacionada (Varimax)	75
TABELA 5.9 – Resultados médios, por <i>cluster</i> , dos valores obtidos para cada fator	80
TABELA 5.10 – Variâncias dentro dos <i>clusters</i> em relação aos valores obtidos para os quatro fatores.....	81
TABELA 5.11 – Resultados dos testes multivariados de igualdade das médias (MANOVA) entre os grupos de Lambda de Wilks aplicado entre os <i>clusters</i>	84
TABELA 5.12 - Matriz de confusão para os resultados da validação cruzada entre classes ..	86
TABELA 5.13– Análise discriminante dos autovalores	87
TABELA 5.14 – Resultados dos coeficientes de correlação multivariados (R_v) estimados a partir do conjunto de dados de dois questionários pareados	89

LISTA DE ABREVIATURAS

AD – Análise Discriminante

DP – Desenvolvimento de Produto

EBSC – Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas

JIT – *Just in Time*

KMO – Kaiser-Meyer-Olkin Measure

LD – *Lean Development*

LM – *Lean Manufacturing*

LT – *Lean Thinking*

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

SBCE – *Set Based Concurrent Engineering*

SMED – *Single Minute Exchange of Dies*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TQC – *Total Quality Control*

VC – Variável de Controle

VD – Variável Dependente

VI – Variável Independente

VPM – *Value Stream Mapping*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contexto.....	1
1.2	Justificativa e Formulação do Problema de Pesquisa	3
1.3	Objetivos	5
1.4	Método de Pesquisa	5
1.5	Contribuições do Trabalho.....	6
1.6	Estrutura do Trabalho.....	7
2.	LEAN THINKING E LEAN MANUFACTURING	9
2.1	Definição e Princípios do <i>Lean Thinking</i>	9
2.2	<i>Lean Manufacturing</i>	11
2.2.1	Contextualização	11
2.2.2	Ferramentas	15
2.2.3	Desempenho em <i>Lean Manufacturing</i>	16
2.3	Principais Diferenças Entre o <i>Lean Thinking</i> na Produção e no Desenvolvimento de Produto.....	20
3.	LEAN DEVELOPMENT	23
3.1	Processo de Desenvolvimento de Produto	23
3.2	Indicadores para Avaliar o Desenvolvimento de Produto	24
3.3	<i>Lean Development</i> : Definição.....	25
3.4	Princípios Enxutos no Ambiente de Desenvolvimento de Produto	29
3.5	Ferramentas Enxutas do Desenvolvimento de Produto	33
3.5.1	Mapeamento do Fluxo de Valor.....	34
3.5.2	Gestão visual	36
3.5.3	Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas.....	36
3.6	Os Desperdícios no Desenvolvimento de Produto.....	38
3.7	Alguns Estudos de Caso Apresentados na Literatura	44
4.	MÉTODO DE PESQUISA	47
4.1	Abordagem e Método de Pesquisa.....	47
4.2	Modelo de Pesquisa	48
4.2.1	Hipóteses de Pesquisa	52
4.3	Instrumento de Coleta	53
4.4	Unidades de Análise e Seleção da Amostra.....	57

4.5	Técnicas para a Análise dos Dados	58
4.5.1	Análise Univariada – Descritiva	59
4.5.2	Análises Multivariadas	59
4.5.2.1	Análise Fatorial	59
4.5.2.2	Análise de <i>Cluster</i>	60
5.	RESULTADOS	63
5.1	Análise Descritiva das Empresas Pesquisadas	63
5.2	Análise Descritiva dos Grupos do Questionário	67
5.3	Análise Fatorial	70
5.4	Análise de <i>Cluster</i> a Partir da Análise Fatorial	78
5.5	Análise Descritiva dos <i>Clusters</i>	82
5.6	Análise Discriminate e MANOVA (Multiple Analysis of Variance)	83
5.7	Análise de Correlação entre Grupos B x C x D do Questionário	88
6.	ANÁLISES DOS RESULTADOS	90
6.1	Análise dos Fatores	90
6.2	Análise dos Resultados em Relação à Tipologia das Empresas	91
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	97
7.1	Limitações da Pesquisa	99
7.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	APÊNDICES	116
	APÊNDICE A: CARTA DE APRESENTAÇÃO	117
	APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO DE PESQUISA ESTRUTURADO	119
	APÊNDICE C: CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS DA AMOSTRA	124

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

De acordo com Morgan (2002), a velocidade de colocação de um produto no mercado é alcançada tanto por meio da maximização da eficiência no processo de projeto do produto, quanto por meio dos estágios de manufatura. Segundo o autor, a Toyota tem conseguido, sistematicamente, desenvolver produtos e respectivos processos de manufatura com menores custos, mais rapidamente e com melhor qualidade do que seus concorrentes. O autor atribui este sucesso, em grande parte, à ampliação da aplicação da filosofia implícita no Sistema Toyota de Produção (STP) para as mais diversas áreas empresariais.

Morgan e Liker (2006) afirmam que uma empresa enxuta, como um todo, inclui não somente a produção, mas diversas outras áreas da empresa. No entanto, muitas empresas focam exclusivamente no chão de fábrica da manufatura e nos seus processos de transformação, porém, estudos mostram que o chão de fábrica é apenas um ponto de partida e que a transformação de uma empresa em uma empresa enxuta impõe um segundo passo: sua aplicação ao desenvolvimento de produtos e processos. De acordo com os autores, inúmeras empresas constataram que somente é possível eliminar desperdícios focando na produção até certo ponto e que, a partir daí, para poder evoluir ainda mais na manufatura, a engenharia de produtos e processos se transforma em um desafio a ser alcançado. O desenvolvimento de produtos (DP) teria um impacto maior sobre a empresa enxuta do que a própria produção enxuta.

Ainda segundo os autores, a diminuição dos custos de desenvolvimento e produção da Toyota é atribuída à utilização, nos novos produtos, de até 60% de partes componentes já existentes na sua linha de produtos. Esta prática seria adotada no desenvolvimento de produto enxuto, ou *Lean Development* (LD).

Os princípios da produção enxuta foram desenvolvidos na década de 1960 pela Toyota como um desenvolvimento da produção integrada, com filosofia comum e um quadro de compreensão baseados no conceito de gestão das fábricas da Toyota (LIKER, 2004). A filosofia foi posteriormente cristalizada em cinco princípios *lean*: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição. No final da década de 1980 um grande projeto de pesquisa internacional dentro da indústria automotiva, destinado à descodificação do Sistema Toyota de Produção e de sua cadeia de fornecedores e distribuidores, foi executado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT – Massachusetts Institute of Technology). Foi então que

surgiu o termo *Lean Thinking* (LT), ou pensamento enxuto. Os resultados deste projeto foram popularizados no livro intitulado *A Máquina que Mudou o Mundo* (Womack et al., 1990) e no seu sucessor *Lean Thinking* (WOMACK e JONES, 1996).

O termo *Lean Manufacturing* (LM), ou produção enxuta, foi proposto mais tarde por pesquisadores americanos de forma a traduzir ao mundo ocidental as técnicas de produção utilizadas pela Toyota, difundidas no ocidente principalmente pelos trabalhos de Womack, Jones e Roos (1990).

Womack e Jones (1996) ampliaram o escopo de compreensão do termo LT, enfatizando que o mesmo se aplica a toda a empresa. Mais tarde, o termo foi estendido para o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) (WOMACK et al., 1990). Então, desde a sua origem nas áreas de produção da indústria automotiva clássica, o LT foi adotado para outras áreas e processos industriais e, recentemente, também tem sido aplicado nas áreas de atendimento ao cliente, nos serviços de administração e saúde.

De acordo com Womack e Jones (1996), o LT é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o LT é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos, ou seja, menos esforço humano, equipamento, tempo e espaço e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam. Sendo assim, a base desse pensamento é localizar e eliminar os desperdícios, sendo eles tudo o que não agrega valor ao cliente.

A aplicação da abordagem *lean* apenas nos processos fabris restringe a obtenção dos seus benefícios potenciais, visto que a constante busca pela eliminação dos desperdícios passou a ser papel não apenas da manufatura, sendo responsabilidade de diversas áreas da organização, principalmente a de projetos de produtos, já que o seu resultado impacta diretamente no processo produtivo e no desempenho do produto e do processo. Novos produtos devem ser concebidos de maneira a gerar o menor índice de desperdício possível e atender os anseios do mercado. Dessa forma, a abordagem *lean* poderá ser aplicada ao processo de desenvolvimento de produtos, objetivando a ampliação dos benefícios adquiridos com a aplicação de seus princípios nos processos de produção, por meio da geração de produtos que agregam valor para o cliente com baixos índices de desperdícios (MORGAN e LIKER, 2006).

Uma pesquisa comparativa realizada por Morgan (2002) na indústria automobilística sugere que o desempenho no desenvolvimento de produtos pode ser beneficiado pelas mesmas ferramentas e métodos enxutos que dirigiram o renascimento da manufatura norte-

americana. Os CEO's da GM, Ford, Nissan e DCX identificaram, por unanimidade, a capacidade de desenvolvimento de produtos como foco para suas estratégias competitivas (MORGAN e LIKER, 2006).

Uma abordagem enxuta para o desenvolvimento de produtos é um ativo valioso e sua base é a importância da integração apropriada de pessoas, processos, ferramentas e tecnologias, para agregar valor ao consumidor e à sociedade (MORGAN e LIKER, 2006).

Existem mais oportunidades para obter vantagem competitiva no desenvolvimento de produto do que em qualquer outro departamento ou área das empresas industriais (MORGAN e LIKER, 2006). Dois fatores sustentam essa premissa. Em primeiro lugar, ao passo que a lacuna relativa ao desempenho em produção diminui, a diferença entre o melhor desempenho e o restante dos concorrentes, em relação ao desenvolvimento de produtos, tende a aumentar. Além disso, os níveis atuais de eficiência em manufatura pressagiam que um foco na produção terá retornos decrescentes no futuro. Em segundo lugar, ainda que um forte sistema de produção possa influir na qualidade e produtividade, a capacidade de influir sobre o valor definido pelo consumidor é muito maior nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto e diminui à medida que o programa de desenvolvimento se aproxima da etapa de lançamento do novo produto. Além disso, a produção exerce pouca influência sobre a seleção inicial de fornecedores. Na indústria automotiva, por exemplo, 60% dos componentes são produzidos por fornecedores e essa é uma tendência para as outras indústrias. Com isso, a contribuição do fornecedor para a engenharia e a produção e, conseqüentemente, a escolha do fornecedor, possui um significativo impacto sobre o custo e a qualidade totais.

1.2 Justificativa e Formulação do Problema de Pesquisa

Estudos sobre a implantação e os resultados obtidos pelo *Lean Manufacturing* já são amplamente divulgados na literatura, mas pouco foi reportado a respeito da implantação e dos resultados obtidos pelo *Lean Development*. No Brasil, são raros os trabalhos relacionados especificamente ao tema *Lean Development*, sendo mais comum encontrar publicações que tratam da aplicação dos princípios enxutos em outras áreas administrativas. Alguns trabalhos sobre *Lean Development* citam a área do processo de desenvolvimento de produto, porém, não se aprofundam no tema.

Muitos trabalhos sobre a implantação dos conceitos enxutos na cadeia de suprimentos e na logística foram encontrados na pesquisa bibliográfica. Os trabalhos encontrados sobre *Lean Development*, em sua maioria, tratam do tema no sentido de apresentar resultados sobre

o número de empresas que o estão implantando, mas há pouca informação sobre como essas empresas o fazem e, principalmente, sobre os resultados que essa aplicação está apresentando para a empresa. Alguns trabalhos tratam especificamente da investigação de como um princípio ou uma ferramenta enxuta do *Lean Development* estão sendo implantados, isoladamente, e qual resultado isso traz para a empresa.

Com base na literatura, que apresenta argumentos de que os princípios *lean* não devem ser aplicados somente na manufatura mas, sim, em todas as áreas da organização, dentre elas o processo de desenvolvimento de produto, cujos resultados impactam diretamente no processo produtivo e no desempenho do produto e do processo, surge a preocupação em saber se, e em que grau, as organizações brasileiras com estratégias consolidadas de *Lean Manufacturing* estão considerando essa possibilidade. Em diversas publicações internacionais sobre o tema afirma-se que empresas constataram que somente é possível eliminar desperdícios focando na produção até certo ponto e que, a partir daí, para se conseguir evoluir ainda mais na manufatura enxuta, o enfoque *lean* na engenharia de produtos e de processos se transforma em um desafio a ser alcançado (MORGAN e LIKER, 2006). Ainda, a literatura sugere que o desenvolvimento de produtos teria um impacto maior sobre a empresa *lean* do que a própria produção *lean*. Esse contexto instiga a investigar se as empresas estão realmente encontrando essa dificuldade em evoluir nos resultados, no momento em que atingem um nível de maturidade elevado no *Lean Manufacturing*, e se, a partir daí, estão buscando aplicar os princípios *lean* especificamente no processo de desenvolvimento de produtos. Também é interessante investigar quais princípios e ferramentas essas empresas estão utilizando e, também, se as mesmas já possuem resultados concretos advindos da aplicação dos princípios enxutos no processo de desenvolvimento de produto. Diante desse cenário, o problema de pesquisa para esta Tese é: “As empresas brasileiras inovadoras, com estratégias de *Lean Manufacturing* mais consolidadas, estão aplicando os conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto?”

Assim, esta Tese está pautada em obter informações a respeito da implantação dos conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produtos. Para isso, uma amostra de empresas inovadoras industriais brasileiras, que possuem o *Lean Manufacturing* implantado, ou em fase de implantação, há pelo menos cinco anos, foi selecionada para a realização de um *survey*, a fim de que possam ser coletadas informações para solucionar o problema de pesquisa e, ainda, com base nas informações coletadas a respeito das variáveis de pesquisa, analisar as correlações entre as mesmas.

Dessa forma, considera-se importante conhecer em que grau e como (ou seja, com a utilização de quais conceitos e ferramentas) as empresas que adotam o LM há pelo menos 5 anos, ou seja, que possuem os princípios enxutos mais consolidado na manufatura, estão implantando, e/ou difundindo, esses princípios e ferramentas no PDP.

1.3 Objetivos

Para dar suporte ao problema de pesquisa, foram definidos os objetivos geral e específico desta Tese.

Considerando o problema de pesquisa, que está diretamente relacionado à identificação de se as empresas brasileiras estão aplicando os princípios enxutos no desenvolvimento de produto, o objetivo geral desta Tese está é identificar e analisar a implantação do *Lean Development* em uma amostra de empresas industriais brasileiras que possuem o *Lean Manufacturing* implantado no sistema de produção. As etapas para se atingir o objetivo geral são as seguintes:

- Classificar a amostra pesquisada em grupos semelhantes entre si, em relação ao processo de desenvolvimento de produto.
- Analisar se os grupos de empresas formados estão aplicando os princípios enxutos no PDP.
- Avaliar quais princípios e ferramentas enxutas cada grupo de empresas formado utiliza no PDP.
- Avaliar o grau de maturidade do *Lean Development* de cada grupo de empresas e correlaciona-lo com os resultados apresentados, por cada grupo, em relação ao PDP.

Alguns objetivos específicos derivam do objetivo geral e oferecem suporte para as respostas do problema e hipóteses de pesquisa. Dentre eles estão construir um referencial teórico que permita identificar as ferramentas e os conceitos enxutos aplicáveis ao *Lean Development*; mapear o cenário estudado e, ainda, verificar quais variáveis de pesquisa estão correlacionadas entre si.

1.4 Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado nesta Tese foi um *survey* realizado em empresas que possuem o *Lean Manufacturing* implantado, ou em implantação, há pelo menos 5 anos e, também, o processo de desenvolvimento de produto. Foi elaborado um roteiro de entrevista

estruturado, na forma de questionário, com respostas fechadas com intensidade em escala *Likert*, variando de 1 a 5 e, também, com respostas abertas.

O primeiro grupo (A) do roteiro do questionário, busca explorar dados gerais da empresa, como porte, número de funcionários, nacionalidade, etc. O segundo grupo (B) busca avaliar o nível de maturidade dessas empresas em *Lean Manufacturing*, a fim de correlacionar essa variável com o nível de implantação e o sucesso obtido em *Lean Development*. No terceiro grupo (C), o roteiro investiga se essas empresas aplicam, ou possuem interesse em aplicar, os conceitos enxutos também no processo de desenvolvimento de produto e como está sendo conduzida a implantação do *Lean Development*, ou seja, quais os princípios e ferramentas enxutos estão sendo aplicados. O quarto grupo (D) avalia o desempenho do *Lean Development* nas empresas, ou seja, é verificado se as empresas percebem melhoria nos resultados com a implantação do LD.

Os dados obtidos por esse levantamento foram tratados estatisticamente (análise descritiva, análise fatorial, análise de correlação e análise de *Cluster*) para atingir os objetivos propostos e para testar e validar, ou não, as hipóteses propostas pela Tese. Ainda, é apresentada uma correlação entre os grupos (temas abordados) do questionário, evidenciando quais deles possuem impacto entre si e em qual intensidade. Um agrupamento das empresas, de acordo com as ferramentas e conceitos enxutos utilizados no PDP e, também, de acordo com o desempenho do *Lean Development*, será apresentado e analisado. Os resultados, bem como quais variáveis são mais impactantes nos mesmos, também serão destacados.

1.5 Contribuições do Trabalho

O trabalho visa atingir, basicamente, duas contribuições para o conhecimento sobre o tema.

Do ponto de vista acadêmico, apresenta a evolução do *Lean Manufacturing*, mostrando como as empresas foram evoluindo na adoção de ferramentas e consolidação de princípios, os quais refletiram na evolução do nível de desempenho, até chegarem no nível de maior desempenho na manufatura, atingindo um patamar de limitação e, então, passaram a buscar em etapas a montante, como por exemplo no processo de desenvolvimento de produto, oportunidades de aplicarem os conceitos enxutos, a fim de conseguirem evoluir ainda mais em seu processo de produção. Ainda, a Tese traz uma revisão bibliográfica sistematizada sobre o que está sendo pesquisado e publicado na área de desenvolvimento de produto enxuto,

ou *Lean Development*, e quais são os resultados e tendências que essas publicações estão apontando.

Os resultados e análises obtidos com a pesquisa de campo conduzida nesta Tese são uma fonte de dados para as empresas que adotam ou pretendem adotar o LD, bem como para o desenvolvimento de futuros trabalhos de pesquisa sobre o tema, que podem confirmar, ou não, os resultados e gerar novos conhecimentos na área.

Do ponto de vista organizacional e corporativo, os resultados apresentados podem servir como base para que as empresas que já aplicam conceitos enxutos, especificamente no processo de desenvolvimento de produto, evoluam em seu nível de maturidade e desempenho e obtenham melhores resultados. Para as empresas que ainda não aplicam conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto, os resultados podem servir como uma boa fonte de dados e estímulo para que as mesmas passem a enxergar o *Lean Development* como uma importante e conveniente abordagem para o PDP.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por sete capítulos. O primeiro e presente capítulo apresenta os aspectos introdutórios à área de conhecimento, bem como o contexto em que o tema se apresenta e sua importância, além dos objetivos e justificativa do trabalho. O capítulo apresenta, também, as contribuições geradas pelo trabalho e uma visão geral do método de pesquisa adotado.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre o *Lean Thinking*, termo que derivou do *Lean Manufacturing* e que, atualmente, é utilizado para explicar os princípios e o modo de pensar desse conceito enxuto, o modo como as ideias são tratadas, como as decisões são tomadas e, enfim, como o conceito enxuto é visto e tratado. O capítulo apresenta, ainda, o *Lean Manufacturing* e sua evolução. São apresentadas as ferramentas dessa abordagem que, mais tarde, veio a se difundir para outras áreas estratégicas. São apresentadas algumas medidas de desempenho indicadas na literatura da área, para avaliar o *Lean Manufacturing*. Isso é de grande importância, uma vez que a utilização, ou não, do *Lean Development* pelas empresas, bem como o sucesso dessa utilização, podem estar relacionados ao nível de desempenho que as mesmas possuem em *Lean Manufacturing*.

Finalizando a revisão bibliográfica, o capítulo 3 foca o tema de pesquisa, o desenvolvimento de produto enxuto, ou *Lean Development*. Primeiramente é apresentada uma breve descrição do processo de desenvolvimento de produto, bem como alguns instrumentos

utilizados para sua avaliação. Em seguida, o capítulo apresenta um detalhamento do LD, com os seus princípios e ferramentas. Um panorama de como o assunto está sendo tratado, por meio de revisão bibliográfica, é apresentado, bem como as pesquisas mais relevantes na área e seus resultados.

O capítulo 4 apresenta os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa e envolve a definição da abordagem de pesquisa, a descrição do método de pesquisa utilizado, as variáveis e hipóteses de pesquisa, e um modelo conceitual de pesquisa. Em seguida é apresentada a técnica de pesquisa utilizada, bem como a descrição da formulação do instrumento de coleta dos dados. O capítulo apresenta, ainda, a seleção e composição da amostra de estudo, bem como as técnicas utilizadas para a análise dos dados.

No capítulo 5 são apresentados os dados obtidos na pesquisa de campo, bem como a análise descritiva das empresas pesquisadas e dos grupos de temas abordados no questionário. A análise fatorial dos dados e posterior análise de *Cluster* são apresentadas nesse capítulo.

O capítulo 6 apresenta a discussão dos resultados encontrados no capítulo 5, discute o problema e as hipóteses de pesquisa, o relacionamento entre as variáveis de pesquisa, a classificação/agrupamento encontrado para as empresas estudadas e os resultados obtidos por essas empresas por meio da utilização dos conceitos enxutos no PDP.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões e considerações finais do trabalho, seus pontos fortes e suas limitações, bem como algumas indicações e sugestões de trabalhos para a continuidade e evolução dos estudos sobre o tema.

2. *LEAN THINKING* e *LEAN MANUFACTURING*

2.1 Definição e Princípios do *Lean Thinking*

A base do conceito do *Lean Thinking* é a eliminação dos desperdícios dentro das empresas. Segundo Ohno (1988), desperdício se refere a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor. Fundamentado que o LT pode ser aplicado em qualquer processo de uma empresa, ele pode tornar-se uma abordagem do processo de desenvolvimento de produto (PDP).

Womack e Jones (2004) definem o pensamento enxuto como uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz.

O crescimento significativo da aplicação do LT nas organizações ocorreu devido à sua nova concepção, validada pelos seus resultados. Segundo Shingo (1981), toda produção, executada tanto na fábrica quanto em outras áreas, deve ser entendida como uma rede funcional de processos e operações. Processos transformam matéria-prima em produtos. Operações são ações que executam essas transformações. Esses conceitos fundamentais e suas relações devem ser entendidos para alcançar melhorias efetivas na produção. Para maximizar a eficiência da produção, deve-se analisar profundamente e melhorar o processo antes de se tentar melhorar as operações.

Womack e Jones (1996), em seu livro *Lean Thinking*, estabeleceram cinco princípios para o LT para toda a empresa:

- Valor: capacidade oferecida a um cliente no momento certo a um preço adequado, conforme definido pelo cliente. Diferente do que muitos pensam não é a empresa e, sim, o cliente quem define o que é valor. Para ele, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é essa necessidade e procurar satisfazê-la. Hines e Taylor (2000) classificaram as atividades, em relação ao valor, em três categorias: a) atividades que agregam valor: são as que, aos olhos do cliente final, tornam o produto mais valioso e atraente. O cliente está disposto a pagar para usufruir das características definidas nestas atividades. Estas atividades devem ser incrementadas; b) atividades que não agregam valor: são as atividades que não tornam o produto final mais valioso ou atraente sob a ótica do cliente final. O cliente não está disposto a pagar por essas atividades. São os desperdícios, que devem ser eliminados; c) atividades necessárias que não agregam valor: são aquelas que, na ótica do cliente final, não tornam o produto mais valioso ou atraente, porém são necessárias para que se atinja a boa

condição do produto final. Essas atividades devem estar em constante estudo e melhoria de modo que, se não puderem ser eliminadas, devem ser reduzidas ao mínimo.

- Fluxo de valor: atividades específicas necessárias para projetar, produzir e oferecer um produto específico, da concepção ao lançamento, do pedido à entrega, e da matéria-prima às mãos dos clientes. O fluxo de valor significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor, aqueles que não geram valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade, e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente. Apesar de continuamente olharem para sua cadeia produtiva, as empresas continuam a focalizar em reduções de custos não acompanhadas pelo exame da geração de valor, pois enxergam apenas os números e indicadores no curto prazo, ignorando os processos reais de fornecedores e revendedores. As empresas devem olhar para todo o processo, desde a criação do produto até a venda final (e, por vezes, inclusive, o pós-venda).
- Fluxo contínuo: realização progressiva de tarefas ao longo do fluxo de valor para que um produto passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria-prima às mãos do cliente sem interrupções, refugos ou retrofluxos. O efeito imediato da criação de fluxos contínuos pode ser sentido na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de pedidos e de estoques. Ter a capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente dá ao produto uma "atualidade": a empresa pode atender a necessidade dos clientes quase que instantaneamente.
- Valor puxado pelo cliente: sistema de produção e instruções de entrega das atividades no qual nada é produzido pelo fornecedor sem que o cliente sinalize uma necessidade. Isso permite inverter o fluxo produtivo: as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor através de descontos e promoções. O consumidor passa a puxar o fluxo de valor, reduzindo a necessidade de estoques e valorizando o produto.
- Perfeição: eliminação total de desperdício para que todas as atividades ao longo de um fluxo de valor criem valor. A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa em processos transparentes, onde todos os membros da cadeia tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores formas de criar valor.

Desde então, várias publicações analisaram esses princípios em maior profundidade e outros autores propuseram novos princípios, como comprometimento da gestão, respeito pelas pessoas e envolvimento da gestão na cadeia de suprimentos (MOYANO-FUENTES, 2011).

2.2 *Lean Manufacturing*

2.2.1 Contextualização

O *Lean Manufacturing* surgiu na Toyota na década de 1950, a fim de enfrentar os desafios necessários para atender mercados menores com uma maior variedade de veículos, o que exigia maior flexibilidade de produção. Seu principal objetivo é executar operações com um mínimo custo e sem desperdícios, a fim de alcançar uma melhoria na qualidade, custos e entrega e, para atingir esse fim, atua sobre as causas de variabilidade ou perdas, ou seja, sobre aquilo que o cliente não percebe como valor adicionado. Também, o *Lean Manufacturing* atua sobre as causas de inflexibilidade, ou seja, sobre tudo o que não se adapta à demanda do cliente (WOMACK et al., 1990). O LM pode ser considerado um sistema de produção integrado que visa minimizar os níveis de estoque e maximizar a capacidade utilizada, por meio da minimização da variabilidade no sistema (WACKER, 2004; DE TRÉVILLE e ANTONAKIS, 2006).

Os princípios básicos do LM foram descritos pelos autores que cunharam o termo: Womack et al. (1990) e Womack e Jones (1996). Em seu livro *Lean Thinking*, Womack e Jones (1996) codificam a essência do LM em cinco princípios básicos: especificar valor, identificar o fluxo de valor, evitar interrupções no fluxo de valor, produção puxada pelo cliente e perfeição. Esses princípios foram abordados no capítulo 2.1 desta Tese.

Nos artigos que focam o processo de implementação do LM, alguns autores defendem que a implementação dos conceitos enxutos deve ocorrer de maneira paralela e não isoladamente (HAYES et al., 1988). No entanto, outros autores como Ferdows e Meyer (1990) afirmam que o LM deve ser implementado sequencialmente. Womack e Jones (1996) definiram as fases teóricas que as empresas devem seguir para implementar o LM. Rich et al. (2006) produziram um guia de implementação detalhado e uma ilustração de outras empresas que colocaram o pensamento enxuto na prática, destacando os principais desafios e armadilhas. Ahlström (1998) expressa outro ponto de vista, indicando que é necessário aplicar os princípios tanto em paralelo quanto sequencialmente.

Em relação aos resultados da implementação do LM, Spear e Bowen (1999) afirmam que, embora muitas empresas tenham tentado aplicar os princípios do LM, somente poucas alcançaram resultados comparáveis aos que a Toyota alcançou. Não é difícil compreender que o que é melhor para Toyota pode não ser adequado para todas as empresas (WARD et al. 1995; LIKER, 2004; LIKER e MEIER, 2005). Além disso, existe também a dificuldade de

compreensão dos princípios que guiam as tomadas de decisões da Toyota em relação ao desenvolvimento de produto e que a levaram ao seu sistema de desenvolvimento de produto altamente eficiente (SOBEK II et al., 1999; MORGAN e LIKER, 2006).

Um princípio fundamental na teoria do LM é que a implementação dos princípios enxutos irá reduzir o desperdício e, assim, diminuir custos. Fullerton et al. (2003) encontraram uma relação positiva entre a lucratividade da empresa e o grau em que as práticas de produção com redução de desperdícios são implementadas. No entanto, Lewis (2000) e Lin Hui e (1999) aconselham que deve-se ter cautela em afirmar genericamente que o LM aumenta o desempenho de uma organização. O LM não resultará inevitavelmente na melhoria do desempenho financeiro, pois a questão crucial parece ser a capacidade da empresa em adequar o valor gerado pelas economias feitas (Lewis, 2000). Essa capacidade depende de fatores organizacionais internos, como a cultura da liderança, a gestão, a cultura organizacional financeira e as habilidades e conhecimentos (ACHANGA et al., 2006;. BROWNING e HEATH, 2009).

Herron e Braiden (2006) afirmam que as ferramentas de LM podem ter um impacto importante sobre áreas específicas do negócio, mas que não são uma panaceia para todos os problemas. Por este motivo, existe alguma preocupação para explicar por que grandes transformações advindas de conceitos enxutos não conseguem se sustentar (BATEMAN, 2005;. LUCEY et al, 2005). Para que as transformações se sustentem, é interessante pensar no processo enxuto como um icebergue. As tecnologias, ferramentas e técnicas que afetam os processos são aquelas visíveis acima da água. No entanto, a grande maioria do icebergue está abaixo da superfície, é invisível, e representa a grande massa, que ancora o icebergue e o torna extremamente forte. É necessário que haja uma avaliação correta sobre o que está acima e o que está abaixo da linha da água. É também importante perceber que as diferentes partes do iceberg são todas interdependentes. Assim, a estratégia e o alinhamento eficazes podem somente ser alcançados por meio de uma liderança forte que, por sua vez, só será alcançada com êxito em uma cultura organizacional positiva, receptiva à aprendizagem e ao aperfeiçoamento (HINES et al., 2008).

Em relação ao impacto que o LM traz para a organização do trabalho, existe uma série de artigos que relatam a importância do comprometimento do funcionário em empresas que utilizam essa abordagem (CUSUMANO, 1994; HARRISON e STOREY, 1996; GAGNON e MICHAEL, 2003; SUZUKI, 2004). Em empresas enxutas, os trabalhadores assumem responsabilidades que vão além dos limites das tarefas de produção. Além disso, a remuneração é baseada mais nas habilidades dos trabalhadores do que no número de

operações que os mesmos realizam (DUGUAY et al., 1997). As empresas que mudam de uma estrutura tradicional de fabricação para uma estrutura enxuta, de fato, possuem um efeito globalmente positivo em relação às atitudes dos trabalhadores (GROEBNER e MERZ, 1994).

Não obstante, outros autores se concentram em uma análise do grau de compromisso da gestão. Assim, Soriano-Meier e Forrester (2002) consideram que tal compromisso deve ser um princípio básico do LM, pois, como Zayko et al. (1997) mostraram, o primeiro obstáculo, que é o principal problema na implementação LM, é a falta de convicção da gestão em relação aos benefícios que o LM proporciona. BOYER (1996) foi um dos primeiros autores a analisar este aspecto, por meio da elaboração de quatro indicadores para medir o grau de compromisso da gestão com o sistema: a liderança em qualidade, a criação de grupos de melhoria, o treinamento dos trabalhadores, e a delegação de responsabilidade para os trabalhadores. Seus resultados empíricos indicam que as empresas que possuem um alto nível de compromisso com o LM realizam investimentos nos quatro indicadores acima mencionados. De acordo com Niepce e Molleman (1996) e De Tréville e Antonakis (2006), esse compromisso se transforma intrinsecamente em motivação para todos os envolvidos na implantação do LM.

O trabalho em equipe fornece ao grupo um estímulo à melhoria no desempenho. O LM destaca a importância das competências operacionais dos membros da equipe e é por isso que as qualificações são essenciais para o LM, não somente com base na transmissão de habilidades e conhecimentos do trabalho em si, mas também na formação contínua permanente, na mobilidade ocupacional ascendente, e na rotação de tarefas. Isso também é necessário para atingir e fomentar uma cultura de cooperação (SCHURING, 1996).

O LM envolve um aumento na variedade de trabalho, o que significa uma queda na tensão emocional do trabalhador (Conti et al., 2006) e um aumento na autonomia responsável (DE TRÉVILLE et al., 2005). No que diz respeito a um efeito sobre a autonomia, uma distinção deve ser feita entre a autonomia para escolher e a autonomia responsável (DE TRÉVILLE et al., 2005). Deve haver pouco da primeira, que se relaciona com a livre escolha dos procedimentos e tempos, e um elevado grau da segunda, que se refere à autonomia derivada de uma descentralização da autoridade, de uma partilha do poder e da participação na tomada de decisões.

O LM está associado à redução de *lead times* de estoques entre processos de produção. O impacto para as organizações é o direcionamento do pensamento para um conceito de custo total, o qual ignora a estrutura de custos individuais e foca no custo total de entrega de valor para o cliente (GOLDSBY et al., 2006). Lambert et al. (1998) sugerem que a estrutura das atividades e processos dentro e entre as empresas é fundamental para alcançar

competitividade e rentabilidade elevadas. É vital que os fornecedores de uma estrutura enxuta recebam, em tempo, um planejamento estável para que os materiais e peças possam ser entregues (KELLER et al., 1991). Garantir uma coordenação de redução de perdas das atividades é criticamente importante (XU e BEAMON, 2006). Parte das ligações coordenadas entre os parceiros envolve a comunicação e compartilhamento de informação, com a intenção de influenciar os parceiros comerciais a manterem fortes relações integradoras (HOLDEN and O'TOOLE, 2004). Para atingir esses fortes relacionamentos, é necessária uma compreensão da expectativa dos parceiros de negócios (HAUSMAN, 2001).

Outra característica do LM é a busca para a melhoria contínua de produtos e processos (OAKLAND, 1993). A adoção de princípios de integração entre empresas enxutas exige um esforço contínuo de melhoria, utilizando relacionamentos mútuos.

O LM também depende de relacionamentos para que suas práticas possam ser realizadas (McIVOR, 2001). A adaptação envolve tornar as respostas adequadas às mudanças tecnológicas e aprender com outras organizações que obtiveram as melhores práticas na indústria. Nas organizações inovadoras, os funcionários devem ser treinados em habilidades múltiplas e devem possuir capacidades variadas. O conteúdo das tarefas individuais deve ser ampliado e enriquecido, e a melhoria contínua das tarefas deve ser um aspecto importante do trabalho.

A implementação de uma abordagem enxuta, como qualquer outra iniciativa de melhoria de produtividade, possui enormes dificuldades. Em muitas empresas o foco principal da implementação do LM ainda é o chão de fábrica e sua busca pela vantagem competitiva tem que contar, ainda, com as mais recentes abordagens integradoras enxutas (HINES et al., 2004; BLANCHARD, 2007).

Um estudo de Zayko et al. (1997) aponta que o LM pode resultar em uma redução de 50% do esforço humano, do espaço fabril, do investimento em ferramentas e do tempo de desenvolvimento do produto. A produção enxuta é uma abordagem multi-dimensional, que inclui uma variedade de práticas de gestão com foco na qualidade, gestão de fornecedores e redução de desperdícios, por meio de ferramentas tais como *Just in Time* (JIT) e gestão de estoques (SHAH e WARD, 2007). O termo JIT origina-se do conceito de redução do inventário, exigindo que as peças e componentes sejam entregues somente quando forem necessários para a produção e nunca antes (HARRISON e VAN HOEK, 2008). O JIT tem sido um elemento chave no desenvolvimento da produção enxuta em muitas empresas (HINES, 1996). O conceito foi ampliado e, atualmente, se refere ao adiamento de recursos desnecessários até que eles sejam necessários. Além disso, a produção enxuta exige, também,

fluxos rápidos e frequentes de informação e bens ao longo da cadeia de valor (KIPPENBERGER, 1997).

O gerenciamento do fluxo é considerado como foco na redução dos custos, por exemplo, utilizando a produção de pequenos ciclos ou pequenos lotes e reduzindo os esforços de coordenação, por lidar com menos fornecedores (COYLE et al., 2003).

2.2.2 Ferramentas

Uma vez que uma das hipóteses de pesquisa desta Tese é que o grau de implantação do *Lean Manufacturing* pode influenciar no nível de implantação dos conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto, é importante descrever as principais ferramentas do *Lean Manufacturing*, pois as mesmas são usadas como indicadores de desempenho para avaliar a implantação do LM em empresas, conforme será apresentado no próximo item, 2.3.

De acordo com Marchwinski e Shook (2007), as definições das principais ferramentas do LM são apresentadas a seguir.

- 5S – Sigla que corresponde à cinco expressões japonesas que começam com a letra S e que descrevem as práticas do ambiente de trabalho. São usualmente traduzidas para o português como Senso de Utilização (Seiri), Senso de Organização (Seiton), Senso de Limpeza (Seiso), Senso de Padronização (Seiketsu) e Senso de Autodisciplina (Shitsuke).
- *Kanban* - Termo que significa “sinais” ou “quadro de sinais” em japonês. Possui duas funções em uma operação de produção: instruir os processos para que fabriquem produtos e instruir abastecedores para que manuseiem materiais São responsáveis pela organização dos estoques.
- Fluxo Contínuo - Produção e movimentação de um item por vez (ou pequenos lotes) ao longo de uma série de processos continuamente. Cada etapa deve ser realizada somente quando for solicitada pela etapa seguinte.
- *Andon* - Ferramenta de gerenciamento visual que mostra o estado das operações em uma área em um único local, além de avisar quando algo anormal ocorre.
- *Poka-yoke* - Ferramenta que ajuda os operadores a evitarem erros em seu trabalho, tais como escolha da peça errada, montagem incorreta, esquecimento de componente, etc.
- Manufatura Celular (*layout*) - Organização das etapas de processamento de um item em células, geralmente em forma de “U”, de modo que todos os componentes, informações,

documentos, etc, possam mover-se em um fluxo contínuo na correta sequência de processamento.

- SMED - Sigla de *Single Minute Exchange of Dies* que significa troca rápida de ferramentas ou *setup* rápido. Trata-se de uma ferramenta que auxilia o processo de preparação de um equipamento no menor tempo possível.
- *Heijunka* – Trata-se do nivelamento do tipo e da quantidade de produção durante um período fixo de tempo, de modo que a produção atenda de forma eficaz as exigências do cliente, garantindo a estabilidade do processo.
- TPM – Abordagem para garantir que todas as máquinas do processo produtivo estejam sempre disponíveis para realizar as suas tarefas. Significa *Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total.
- Gestão Visual – Disponibilização das informações sobre produtos, atividades, produção, indicadores de desempenho e várias outras, de modo que seja possível a todos os interessados entenderem rapidamente a situação real.
- TQC – Baseado no ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), o *Total Quality Control* (Controle de Qualidade Total) é uma metodologia gerencial onde todos os departamentos, empregados e gestores são responsáveis por melhorar continuamente a qualidade dos produtos e serviços.
- *Kaizen* - Melhoria contínua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de se criar mais valor com menos desperdício, eliminando-se atividades que não agregam valor e focando nas atividades que agregam valor.
- Trabalho Padronizado – Definição minuciosa de procedimentos de trabalho de cada um dos operadores em um processo de produção, levando em conta o tempo e a sequência exata de trabalho.
- Mapeamento de Fluxo de Valor - Em inglês *Value Stream Mapping* (VSM), é um diagrama simples que compila todas as etapas envolvidas nos fluxos de material e informação, necessárias para atender os clientes, do pedido à entrega. São mapas que buscam compreender o fluxo de valor sob a ótica do cliente. É uma ótima ferramenta de diagnóstico para o início das atividades de implantação *lean*.

2.2.3 Desempenho em *Lean Manufacturing*

Rother (2010) esclarece que o nível de implantação do LM não está diretamente relacionado com as ferramentas e práticas que a empresa aplica, mas sim com o quanto a empresa está madura em relação às práticas *lean*. Assim, uma avaliação da implantação do LM deve possuir uma relação direta com o grau de maturidade da aplicação dessas práticas no ambiente empresarial. Avaliando essa situação, Mann (2005) recomenda que as empresas iniciem o processo de implantação do *lean* por meio da adoção dos princípios e ferramentas, já que a absorção dos conceitos pela organização é lenta. Mesmo assim, o autor sugere que a empresa faça um diagnóstico inicial e preciso da cultura organizacional para servir de referência para o acompanhamento da evolução. O autor avaliou as empresas em relação aos elementos gestão e responsabilidade; pessoas; informações; fornecedor, organização e clientes; produto; e processo e fluxo. Após o cálculo dos graus de maturidade das empresas, o autor fez correlações entre as mesmas, em função do porte e da idade das empresas, da existência de cargos específicos em *lean*, da existência de um programa oficial de implantação do *lean*, da utilização de uma consultoria especializada em *lean*, do tipo de administração da empresa (familiar ou não), da nacionalidade e do número de unidades da empresa. As empresas com menor grau de maturidade eram as de porte médio, de administração familiar, brasileiras, que não possuíam cargos específicos em *lean*, não possuíam um programa oficial de implantação para o *lean* e não utilizaram uma consultoria especializada em *lean*.

Teixeira, 2012, elaborou uma síntese com alguns modelos de avaliação do *Lean Manufacturing*, suas bases e as principais dificuldades de cada um. Esse quadro é mostrado no quadro 2.1.

Taj (2008) investigou o nível de desempenho do LM de empresas chinesas, dos mais variados setores de produção. Para isso, o autor avaliou, por meio de um *survey*, os níveis atuais de implantação das práticas de manufatura das empresas, em relação às áreas chaves, como processos de fabricação, estoques, manutenção, *layout* e fluxo de materiais, fornecedores, qualidade e planejamento e controle da produção. A ferramenta de avaliação utilizada pelo autor foi desenvolvida por Lee (2004) e ajuda a investigar, avaliar e medir essas áreas chaves do LM. Foi encontrado que planejamento e controle da produção, bem como manutenção, mostraram um alto desempenho, enquanto estoques e fornecedores mostraram baixo desempenho. Em termos de processos de fabricação, o tipo de equipamentos e máquinas utilizados pelas empresas influenciou no nível de desempenho. Indústrias petroquímicas, de telecomunicações e de computação mostraram um elevado desempenho, em relação às indústrias de outros segmentos de mercado. Em relação ao *layout* e fluxo de

materiais, as empresas do setor de alta tecnologia mostraram um bom desempenho, devido ao fato de serem mais ágeis e flexíveis em casos de mudanças rápidas do tipo de produto a ser processado. O desempenho em qualidade, em geral, não é alto, mostrando que precisa de melhorias.

QUADRO 2.1 – Modelos de avaliação da implantação do *Lean Manufacturing* (TEIXEIRA, 2012)

Modelos de avaliação	Base do modelo para a avaliação	Dificuldades para a avaliação
Shingo Prize (2011)	Onze elementos e cinco princípios	Avaliação baseada na experiência de especialistas no modelo
Kobayashi (2008)	Três elementos e vinte fatores	Análise subjetiva
Karlsson e Ahlström (1996)	Nove princípios	Enfoque somente no chão de fábrica
LEM <i>Lean enterprise Model</i> (2010)	Seis princípios	Modelo complexo com utilização de <i>software</i> e direcionado para a avaliação individual
SAE J4000 e SAE J4001 (1999)	Cinquenta e dois componentes distribuídos em seis elementos	Não permite comparações
Sánchez e Perez (2001)	Seis princípios	Avalia basicamente ferramentas
Soriano-Meier e Forrester (2002)	Treze princípios	Avalia basicamente ferramentas
Fernandes, Godinho Filho e Dias (2005)	Doze princípios	Avalia basicamente ferramentas
<i>Bechmarking enxuto</i> (2008)	Quatro variáveis de pesquisa	Avalia basicamente ferramentas
ADPE Avaliação de desempenho de práticas da produção enxuta (2010)	Oito princípios (etapas)	Avalia somente ferramentas
<i>Lean Assesment</i>	Variável	Desenvolvido para aplicação caso a caso

Existem vários estudos que examinam o desempenho do LM com foco apenas em aspectos limitados do LM (CAGLIANO et al., 2004). Shah e Ward (2003, 2007) e Rahman et. al. (2010) utilizaram uma abordagem multi-dimensional. No entanto, a maioria das pesquisas sobre o desempenho do LM tende a se basear em casos individuais de experiências de organizações. Por exemplo, Dhandapani et al. (2004) descreveram um estudo de caso de uma siderúrgica na Índia, a qual obteve um ganho significativo em produtividade e uma redução de custos de inventário por meio da implementação de práticas enxutas. Abdulmalek e Rajgopal (2007) também estudaram uma grande siderúrgica, onde os princípios enxutos foram adaptados em conjunto com a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor e modelos de simulação. Parry e Turner (2006) estudaram três empresas sediadas no Reino Unido que aplicaram as práticas enxutas. Bayou e de Kórvin (2008) desenvolveram uma estrutura unificada para medir o grau de desempenho do LM das empresas e selecionaram o JIT, o *Kaizen* e o controle da qualidade como atributos enxutos demonstrando que o sistema da Ford é 17% mais enxuto do que o sistema da GM. Anand e Kodali (2009) apresentaram um estudo de caso de uma empresa de manufatura de válvulas de médio porte e Browning e Heath (2009) apresentaram o caso do sistema de produção da Lockheed Martin para o programa F-22. Utilizando um modelo analítico de rede baseado em processo, Anand e Kodali (2009) demonstraram que a implementação de um sistema de manufatura enxuta resultou em um desempenho organizacional superior em comparação com outras práticas de sistemas de manufatura flexíveis e sistemas de manufatura integrados por computador. Browning e Heath (2009) exploraram como a inovação, a complexidade e a instabilidade afetam a relação entre a implementação enxuta e os custos de produção. Rahman et. al. (2010) direcionaram o estudo ao setor manufatureiro asiático, utilizando dados de pesquisas de coleta do tipo *survey*, em oposição aos estudos de caso. Os autores utilizaram 13 práticas para avaliar o desempenho do LM em empresas tailandesas. As práticas são: redução do tamanho do lote de produção; redução do tempo de troca de ferramentas e ajuste de máquinas; foco em um único fornecedor; implementação de atividades de manutenção preventiva; redução do tempo de ciclo; redução de problemas programação e de estoque em processo e para distribuição; utilização de novas tecnologias ou equipamentos de processo; utilização de técnicas rápidas para trocas de ferramentas; fluxo contínuo de peças; utilização de sistema baseado em produção puxada e *kanban*; eliminação de gargalos; utilização de técnicas à prova de erro (*pokayoke*); e eliminação de desperdício. Para avaliar o desempenho operacional foram utilizados quatro critérios: velocidade de entrega, comparada com o principal concorrente; custo unitário do produto, comparado aos concorrentes; produtividade global; e satisfação

global do cliente. Das treze práticas utilizadas, foram produzidos três constructos *lean* a partir de fatores de análises, denominados JIT, minimização de perdas e gerenciamento de fluxo. Seis das treze práticas estão incluídas em JIT: redução de estoque, manutenção preventiva, redução do tempo de ciclo, utilização de novas tecnologias de processo, utilização de técnicas para passagens de produção ágeis e redução do tempo de troca de ferramentas e ajuste de máquinas. A minimização de perdas inclui quatro práticas: eliminação de desperdício, utilização de técnicas à prova de erros, utilização de sistemas de produção puxada e remoção de gargalos de produção. O gerenciamento de fluxo inclui as outras três práticas, que são redução do tamanho de lote de produção, foco em um único fornecedor e fluxo contínuo de peças. Os resultados mostraram que os três constructos *lean* estão significativamente relacionados ao desempenho operacional. O JIT possui maior nível de significância em grandes empresas enquanto a eliminação de perdas possui um nível de significância maior em pequenas e médias empresas. O gerenciamento de fluxo possui um nível de significância muito alto, tanto para as grandes quanto para as pequenas e médias empresas.

2.3 Principais Diferenças Entre o *Lean Thinking* na Produção e no Desenvolvimento de Produto

As áreas de produção e desenvolvimento do produto são bastante diferentes em vários aspectos e a transferência de métodos ou ferramentas de uma área para outra não é uma tarefa simples (BJARNOE, 2006).

A produção trabalha com os cinco parâmetros genéricos de desempenho: qualidade, custo, rapidez, flexibilidade e confiabilidade. No desenvolvimento de produto, o foco é a criação de valor no tempo correto, sendo o conceito de valor mais amplo, incluindo, por exemplo, parâmetros estéticos. Na produção os processos são lineares, enquanto o desenvolvimento de produto trabalha com iterações. Na produção a reprodutibilidade cria valor; no desenvolvimento do produto é a variação que cria valor. A produção trabalha com especificações fixas; no desenvolvimento de produtos existem graus de liberdade substanciais. O principal problema na produção é o desperdício de recursos; no desenvolvimento de produtos perdem-se oportunidades de criação de ótimos negócios com o desperdício de informações.

Para Bauch (2004), o desenvolvimento de produto é diferente da manufatura, pois pode ser compreendido como algum tipo de fábrica de criação de informação, que cria, recolhe, avalia e reduz o risco e a incerteza da informação, a fim de atingir a meta de

desenvolver gradualmente um produto novo e sem erros que, então, possa ser produzido na fábrica. No contraste, o alvo da manufatura é reproduzir sem erros exatamente o mesmo produto repetidas vezes.

3. *LEAN DEVELOPMENT*

3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

O desenvolvimento de produtos pode ser compreendido como um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas e, considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações do projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo (ROZENFELD et al. 2006).

O desenvolvimento de um novo produto exige o monitoramento da evolução das necessidades dos consumidores, existentes e potenciais, e a identificação de oportunidades de mercado não aproveitadas (CARVALHO; TOLEDO, 2008). Em relação ao escopo do PDP, o mesmo se estende cada vez mais, incorporando estratégias de produto, de mercado e tecnológicas, além de atividades de suporte à produção, lançamento, acompanhamento e descontinuidade do produto no mercado. Isso faz com que um grande número de competências seja envolvido no PDP (CORMICAN; O'SULLIVAN, 2004; ROZENFELD et al., 2006).

A gestão do PDP é complexa devido à sua natureza dinâmica e à necessidade de interação com as demais atividades da organização. Além disso, o PDP lida com uma extensa quantidade de informações provenientes de áreas internas e externas à empresa, tais como informações da área econômica, tecnológica e de mercado (TOLEDO et al., 2008).

Rozenfeld et al. (2006) afirmam que existem diversas abordagens para a gestão do PDP, tais como a engenharia simultânea, que utiliza equipes multifuncionais para o desenvolvimento, o que amplia a integração entre as áreas funcionais, clientes e fornecedores envolvidos no desenvolvimento. Outras abordagens são o desenvolvimento integrado do produto, o modelo de funil de desenvolvimento e o modelo de *stage-gates* (TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008).

Abordagens recentes têm apresentado novas visões para o processo de desenvolvimento de produtos, tais como a abordagem *lean*, ou *Lean Development*, que propõe uma simplificação e diminuição da formalização do processo de desenvolvimento, evitando os desperdícios, e a abordagem *Design For Six Sigma*, com ênfase em ferramentas estatísticas para o atendimento às especificações e tolerâncias do produto. Podem-se destacar como novas abordagens, também, os modelos de maturidade, capazes de medir os níveis de maturidade das práticas do processo de desenvolvimento de produto e a abordagem do ciclo de vida do

produto, que apresenta uma análise mais ampla da integração do processo (ROZENFELD et al., 2006).

A incerteza, risco e complexidade inerentes ao processo de desenvolvimento de produto afetam diretamente os indicadores de qualidade e custo do produto, tempo de desenvolvimento (*lead-time*) e custo de desenvolvimento, como, também, o aumento da capacidade da empresa desenvolver, com sucesso, novos projetos. Neste ambiente, a Toyota Motor Company destaca-se por, consistentemente, obter sucesso em seus programas de desenvolvimento utilizando a abordagem de desenvolvimento enxuto de produtos, ou *Lean Development* (PÊSSOA, 2006).

3.2 Indicadores para Avaliar o Desenvolvimento de Produto

Ward (2007) apresenta indicadores de desempenho que podem ser utilizados para avaliar o desenvolvimento de produto.

- Retorno sobre o investimento projetado e atual: os custos de desenvolvimento devem ser tratados como investimento. O retorno sobre o investimento deve ser utilizado para gerenciar o desenvolvimento.
- Taxa de defeito do projeto e probabilidade estimada de falha: deve-se desdobrar o sistema em subsistemas ou componentes, identificar modos de falha para cada subsistema e para o sistema como um todo, estimar a probabilidade de cada modo de falha causar um projeto defeituoso e, por fim, multiplicar essas probabilidades para encontrar a probabilidade de um projeto bem sucedido, sem defeitos. Quase todos os projetos que possuem falhas não possuem o conhecimento certo no lugar certo e no tempo certo. O conhecimento bem utilizado previne defeitos, estimula os clientes e cria um fluxo de valor operacional rentável. O conhecimento bem utilizado de desenvolvimento é criado por três tipos básicos de aprendizado: integração, que inclui o aprendizado sobre os clientes, fornecedores, parceiros, ambientes físicos no qual o produto será utilizado e outros; inovação, a qual cria novas possíveis soluções; e viabilidade, a qual permite as melhores decisões entre as novas possíveis soluções, evitando custos e problemas de qualidade no projeto. Conforme o conhecimento aumenta, a quantidade de novas ferramentas requeridas diminui. As empresas que utilizam o LD gastam uma enorme fração dos seus esforços de desenvolvimento criando conhecimento, e esse foco é o coração do LD.
- Fração do tempo de desenvolvimento gasta/consumida criando valor. Velocidade/rapidez do desenvolvimento. Medidas convencionais de velocidade, tais como

tempo entre aprovação do projeto e lançamento da produção, podem ser inadequadas. Deve-se medir diretamente o tempo requerido para responder uma simples questão sobre o projeto: o tempo requerido para ir do conceito, para o modelo, para os resultados de simulação, ou do conceito para os testes de protótipos.

- Tempo de ciclo desde a definição do conceito do produto até a análise e aprovação dos resultados de testes e simulações: avaliar o quanto a empresa possui de conhecimento e o quanto ela está melhorando em relação a isso. Para isso, é necessário iniciar com as categorias integração, inovação e viabilidade.
- Grau de conhecimento e taxa de mudança: É necessário compreender quanto ainda a empresa necessita aprender. O tempo de lançamento entre produtos pode ser medido e, quanto menor for esse tempo, mais produtos estarão disponíveis para o mercado e mais a empresa pode aprender. É possível, ainda, avaliar o *lead time* entre uma oportunidade técnica ou de mercado e a produção de um produto com qualidade. O *lead time* é crítico, pois todos os concorrentes possuem acesso às informações sobre novas ideias e novos mercados ao mesmo tempo. A empresa que se destaca é aquela que é consistentemente mais rápida do que os concorrentes no sentido de aprender o suficiente para alcançar uma produção completa com alta qualidade.
- *Lead time* entre a identificação de uma oportunidade técnica ou de mercado e a produção completa de um produto de sucesso: o *lead time* é a soma de quatro períodos: tempo de reação entre o surgimento da oportunidade e a decisão da empresa em investir; tempo de exploração, durante o qual os times exploram implementações de múltiplas alternativas (e o valor do conhecimento é eficientemente adicionado); tempo de congelamento, no qual somente uma única solução é detalhada; e tempo de fixação, no qual a empresa tenta tratar os problemas com a única solução selecionada. A empresa deveria gastar seus recursos na fase de exploração, pois somente a exploração adiciona conhecimento eficientemente. As fases de congelamento e fixação adicionam conhecimento apenas em relação à solução selecionada, o que não ajuda em projetos futuros.

3.3 *Lean Development*: Definição

De acordo com Ward (2007), o LD é um sistema que reduz o tempo e os recursos necessários para o desenvolvimento de um novo produto em até quatro vezes, reduz o risco de problemas de qualidade e prazos em até dez vezes, aumenta a inovação em até dez vezes, e

reutiliza partes e sistemas de produção reduzindo custos de capital e melhorando a qualidade. Segundo o autor, o LD vai além dos princípios do *Lean Manufacturing* e dos métodos da engenharia simultânea convencional, o que propicia, como efeito total para as empresas que utilizam o LD, a obtenção de um retorno no investimento igual ou melhor do que o de seus melhores concorrentes.

Reinertsen (2005) afirma que o LD tenta aplicar os princípios aprendidos em *Lean Manufacturing* na área de desenvolvimento de produto (DP) e que estes são utilizados para criar um fluxo no DP que irá torná-lo mais ágil. A possibilidade de colocar um novo produto mais rápido no mercado irá aumentar a capacidade de reatividade da empresa.

O LD se preocupa com dois tipos de fluxo de valor: o fluxo de valor operacional e o fluxo de valor de desenvolvimento (Ward, 2007). O fluxo de valor operacional inclui atividades que convertem a matéria prima em produtos e produz produtos de alta qualidade no momento que o cliente deseja. As atividades são criadoras de valor quando elas transformam os materiais em produtos, os quais os clientes estão dispostos a pagar. O fluxo de valor de desenvolvimento inclui atividades de reconhecimento de oportunidades através do lançamento da produção do novo produto.

O fluxo de valor de desenvolvimento produz fluxo de valor operacional, o qual é executado a partir do desenvolvimento dos fornecedores, passando pela fábrica e terminando na entrega do produto para o cliente. Ou seja, o fluxo de valor operacional não existe se o processo de desenvolvimento não o cria. Desenhos, análises e testes somente possuem valor se criam qualidade no fluxo de valor operacional. Desta forma, departamentos de operações são os clientes primários do processo de desenvolvimento. O desenvolvimento somente possui valor se torna as operações capazes de entregar produtos melhores para o cliente final (Ward, 2007).

Ferramentas adaptadas do *Lean Manufacturing* como, por exemplo, *Kaizen*, 5S, mapeamento de processos, ferramentas da qualidade, etc, podem ser utilizadas desde que sejam adaptadas para o PDP (por exemplo, 5S seria focar mais na eliminação de informações indesejadas do que na limpeza do ambiente de produção) (WOMACK, JONES e ROOS, 1990). A utilização de uma plataforma comum parece ser um fator decisivo nesta metodologia, no que diz respeito à redução do custo do desenvolvimento e à inovações específicas focadas na satisfação do cliente (MASCITELLI, 2004). Algumas práticas utilizadas para alcançar os objetivos do LD são: engenharia simultânea, envolvimento dos fornecedores e dos clientes, gestão visual, trabalho em grupo e times multi funcionais (KARLSSON e ÅLHSTRÖM, 1996). Padronizar o processo de DP, reduzir o tamanho de

lotes de dados transmitidos a partir de um estágio para outro e eleger um líder de projeto forte, que represente o cliente e seja capaz de cristalizar sua capacidade, são fatores que tornam o fluxo do processo mais rápido (KRISTOFERSSON e LINDEBERG, 2006). O LD é baseado na melhoria contínua e sua implementação demanda tempo e requer humildade e compromisso para permitir a melhoria em uma empresa. O LD não propõe um roteiro para o DP, mas é uma iniciativa que ajuda a melhorar e padronizar o processo existente em uma empresa.

A estratégia por trás do LD é uma forte capacidade de reatividade às demandas do mercado e de posicionamento da empresa como líder da qualidade (MORGAN e LIKER, 2006, REINERTSEN, 2005).

McManus (2005) propõe que a abordagem enxuta no processo de desenvolvimento de produto (PDP) é baseada no mapeamento do processo de agregação de valor à informações que vão sendo desenvolvidas ao longo do PDP. O mapeamento do processo de desenvolvimento iniciaria com um “mapa de limites” que identificaria as entradas e saídas do processo. A definição clara da saída do processo, assim como de seu valor para os clientes (consumidor final, acionistas, etc.), é fundamental para que o processo seja detalhado em tarefas. Uma vez identificadas as tarefas necessárias ao projeto, elas devem ser classificadas em algum dos três tipos possíveis definidos pelo autor:

- Tarefas que agregam valor direto: tais como, as de definição do produto final com desempenho funcional desejado, as de definição do processo de produção e entrega etc.
- Tarefas necessárias que não agregam valor: as que precisam ser realizadas se a empresa não provê um sistema de gestão que as torne comuns no seu cotidiano, como por exemplo, facilitar a comunicação, investir na satisfação das pessoas com o trabalho etc.
- Tarefas intermediárias: em algumas situações agregam valor e em outras não, tais como documentação do produto, atividades habilitadoras como aquisição de componentes etc.

A partir de então, o autor sugere que as tarefas consideradas necessárias ao desenvolvimento do novo produto sejam utilizadas para elaborar mapas com o "fluxo básico de informações entre elas". Na elaboração dos mapas devem ser ilustradas algumas métricas básicas para que se tomem decisões relacionadas com a melhoria do fluxo, tais como:

- Tempo de ciclo: tempo necessário para realizar uma tarefa;
- Tempo em fila: tempo que um trabalho espera até o processo seguinte o utilize;

- Tempo de processo principal: horas de trabalho contínuo gastas no cerne da tarefa (excluindo *set-up*, ajustes, levantamento de informações etc). Algumas vezes é chamado de tempo de valor agregado;
- Eficiência;
- *Lead time*: tempo do reconhecimento da necessidade pela tarefa até a compleição da tarefa.

Mapas de estado atual são analisados quanto à existência de tarefas que não se encaixam em nenhuma das três tipologias discutidas anteriormente e que, portanto, podem ser denominadas como não-agregadoras de valor. O fluxo é, então, analisado quanto a possíveis desperdícios de informação (McMANUS, 2005): (1) atraso da disponibilização da informação; (2) estoques de informações grandes, complexos ou obsoletos; (3) informações excessivamente trabalhadas; (4) criação e disponibilização de informações desnecessárias; (5) problemas no transporte de informações; (6) movimentos desnecessários como reformatação ou dificuldades de acesso direto; e (7) informações incompletas, sem revisões, verificações etc.

Cusumano e Nobeoka (1998) afirmam que o foco do LD é a gestão integrada de múltiplos projetos, com a maximização do número de modelos de novos produtos, por cada projeto plataforma, e a intensa reutilização de componentes e tecnologias entre projetos, visando economia de escala e de escopo.

O que distingue o LD, também, é a ênfase na exploração de múltiplas alternativas de projeto nas fases iniciais, retardando o congelamento do conceito e da solução eliminando as alternativas avaliadas como inferiores, na medida em que o nível de detalhamento avança até que reste apenas a solução final, aumentando a probabilidade de que esta solução seja melhor, quando comparada com a prática usual de fazer iterações sobre a mesma alternativa (previamente definida) até que os requisitos de projeto sejam atendidos. Essa ferramenta é denominada de *Set Based Concurrent Engineering* - Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Possíveis Soluções, ou ESBC (WARD et al., 1995; SOBEK et al., 1999).

Tapping e Shuker (2003) discutem a aplicação dos conceitos de produção enxuta para processos organizacionais que tenham caráter administrativo. Embora não enfoquem especificamente o PDP, o ferramental desenvolvido pelos autores poderia ser utilizado em diversas situações envolvidas no desenvolvimento de produtos. Segundo os autores, a exemplo da manufatura, os processos administrativos ocorrem em sequências pré-determinadas, podem ser medidos em relação a tempo e quantidades e contém, na maioria das vezes, alguns procedimentos redundantes ou que poderiam ser executados em uma outra

ordem de eventos que melhore seus resultados finais. Para os autores, apenas de 5% a 30% do tempo despendido em um processo administrativo equivale ao valor que ele agrega à organização.

Independente do setor em que a empresa atua ou do tipo de produto que ela desenvolve, alguns problemas em implantar o LD são destacados na literatura. De acordo com Waal e Counet (2009), esses problemas podem ser descritos como: os gerentes dão pouca prioridade para a implementação de sistemas de avaliação de desempenho; a implementação requer mais tempo do que o esperado; não há recursos suficientes e capacidade de implementação; a organização é um ambiente de instabilidade; falta compromisso da gestão; falta motivação dos funcionários; falta apoio da tecnologia da informação; a organização não possui uma compreensão clara da sua própria estratégia; não existe rede de aprendizagem ou visão departamental; existe dificuldade em definição de fatores críticos de sucesso; falta foco na gestão e controle internos; existe dificuldade em transformar a estratégia empresarial em objetivos individuais; há dificuldade em definir corretamente os indicadores; existe foco demasiado nos resultados e não durante o processo de implementação; falta acompanhamento diário de gestão, bem como uma liderança durante a coordenação e execução; existe dificuldade em manter a implementação; há dificuldade para obtenção de dados para os indicadores ou a organização não enxerga os benefícios da implementação.

3.4 Princípios Enxutos no Ambiente de Desenvolvimento de Produto

Mascitelli (2004) apresenta o desenvolvimento de produto enxuto com o objetivo principal de alcançar uma integração entre as atividades de desenvolvimento de produto e processo de fabricação, ou seja, um tipo de co-desenvolvimento. Salienta, ainda, a necessidade de que o novo produto deve procurar preferencialmente usar materiais do inventário atual da fábrica, mesma base de fornecedores, poucos componentes e/ou montagens, fluxo de processo semelhante aos existentes e que permita pequenos lotes, tolerâncias conforme as capacidades atuais de processo e que seja fácil de testar. O autor apresenta cinco princípios para o desenvolvimento enxuto de produtos:

Princípio 1: Defina precisamente o problema do cliente e identifique a função específica que deve ser executada para resolver o problema.

Princípio 2: Identifique o processo mais rápido pelo qual as funções identificadas possam ser integradas em um produto de baixo custo e alta qualidade.

Princípio 3: Tire fora qualquer item de custo redundante ou desnecessário, para revelar uma solução ótima de produto.

Princípio 4: Ouça a voz do cliente frequentemente e interativamente durante todo o processo de desenvolvimento.

Princípio 5: Introduza métodos e ferramentas de redução de custo tanto em suas práticas de negócios quanto em sua cultura, para permitir que a redução de custo seja contínua.

Morgan e Liker (2006) utilizam um modelo de sistema para descrever o *Lean Development* que combina três subsistemas principais: processos; pessoal; ferramentas e tecnologia. Esses três sistemas são compostos por treze princípios que compreendem o modelo de sistema enxuto de desenvolvimento de produto, de acordo com a visão desses autores.

O primeiro subsistema consiste em processos e abrange todas as tarefas e sequências de tarefas exigidas para levar um produto desde o conceito até o início de produção. Em um processo de engenharia a matéria prima é a informação: necessidades do cliente, características dos produtos anteriores, dados sobre produtos competitivos, princípios de engenharia e outras informações que são transformadas pelo processo de desenvolvimento de produto na engenharia completa de um produto. Esse subsistema é compreendido pelos princípios de 1 a 4:

Princípio 1: Identifique valor definido pelo cliente para separar valor agregado de desperdício: qualquer atividade que consome tempo e dinheiro mas não agrega valor pela perspectiva do cliente é desperdício.

Princípio 2: Concentre esforços no início do desenvolvimento de produto para explorar integralmente soluções alternativas enquanto existe a máxima flexibilidade de projeto: deve-se utilizar recursos multifuncionais integrados de engenharia para focar em resolver os principais desafios em engenharia enquanto existe o máximo de opções para tanto. Resolver problemas enquanto os projetos estão na sua maior fluidez permite à empresa explorar soluções potenciais em projeto, engenharia e manufatura. Isso minimiza dispendiosas mudanças de engenharia no decorrer das etapas mais adiantadas do fluxo.

Princípio 3: Crie um nivelamento de fluxo do processo de desenvolvimento de produto: um sistema de desenvolvimento de produto enxuto é uma oficina de trabalho de conhecimentos funcionais que a empresa pode melhorar de forma contínua mediante a utilização de ferramentas adaptadas nos processos dos processos repetitivos de manufatura a fim de eliminar o desperdício e sincronizar as atividades multifuncionais. Com isso é possível

equilibrar a carga de trabalho, criar e diminuir a cadência da gestão de eventos para criar um tempo *takt*, minimizar as filas, sincronizar processos compartilhados por departamentos funcionais e reduzir o retrabalho a um mínimo.

Princípio 4: Utilize padronização rigorosa para reduzir a variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis: reduzir a variação e, ao mesmo tempo, preservar a criatividade, é um desafio no desenvolvimento de produto. Portanto, o ideal é que sejam padronizadas as tarefas mais comuns, que podem ser divididas em três categorias: padronização do projeto (arquitetura conjunta, modularidade e reutilização de componentes compartilháveis); padronização dos processos (projetar produtos e construir plantas de produção padronizadas com base em processos de manufatura padrão); padronização dos conjuntos de competência em engenharia (proporciona flexibilidade na formação de equipes e programação da produção).

A padronização é a base para reduzir as variabilidades por meio de lista de verificações e é utilizada como um mecanismo para capturar o conhecimento. A padronização do projeto envolve o produto, sua arquitetura, seus componentes e matéria-prima. A padronização dos processos envolve tarefas comuns, sequência e duração das tarefas e padronização das habilidades técnicas, que está relacionada com a capacidade das pessoas envolvidas na equipe do desenvolvimento (MUNSTERMANN et al., 2010; MARKSBERRY et al., 2010; WANG e KLEINER, 2005; WEE e WU, 2009).

O segundo subprocesso consiste em pessoal e envolve recrutamento, seleção e treinamento de engenheiros, estilos de liderança e padrões de estrutura e aprendizagem organizacionais. Esse subprocesso é compreendido pelos princípios de 5 a 10:

Princípio 5: Desenvolva um sistema de engenheiro-chefe para integrar o desenvolvimento do início ao fim: o engenheiro-chefe é responsável pela situação exata de qualquer projeto em andamento. Ele não é simplesmente um gerente de projeto, mas um líder e integrador de sistemas técnicos e é para ele que são delegadas as decisões mais difíceis. O engenheiro-chefe não é um somente um gerente de projeto, pois além de administrar pessoal e prazos, é um arquiteto técnico principal que, além de unir, mantém unido e sólido o processo de desenvolvimento de produtos.

Princípio 6: Organize para balancear a competência funcional e a integração multifuncional: embora a empresa seja organizada funcionalmente, com ênfase nas habilidades funcionais e numa hierarquia baseada no mérito, deve haver a integração entre os tradicionais silos por meio do engenheiro-chefe e de equipes de desenvolvimento em módulos.

Princípio 7: Desenvolva competência técnica superior em todos os engenheiros: os engenheiros devem aprofundar, e não ampliar, sua experiência, por meio do desenvolvimento de suas capacidades técnicas. A excelência técnica deve ser reverenciada e os engenheiros devem passar grande parte do tempo de trabalho em atividades práticas, empenhando-se em fiscalizar de perto como está sendo desenvolvido o trabalho e quais são os problemas apresentados.

Princípio 8: Integre plenamente os fornecedores ao processo de desenvolvimento de produtos: por serem responsáveis por mais de 50% dos componentes na maioria das indústrias, os fornecedores devem constituir uma parte fundamental do sistema de desenvolvimento produto. As empresas precisam administrar e cultivar seus fornecedores da mesma forma que administram e cultivam seus recursos internos de manufatura e engenharia. A utilização de métodos, como a presença na fábrica de engenheiros convidados dos fornecedores, serve para estreitar o relacionamento entre a organização e seus fornecedores.

Princípio 9: Consolide o aprendizado e a melhoria contínua: a capacidade de aprender e melhorar pode ser a vantagem competitiva mais sólida de uma empresa.

Princípio 10: Construa uma cultura de suporte à excelência e à melhoria ininterrupta: O DNA da empresa deve ser uma combinação de crenças e valores fortemente compartilhados por sucessivas gerações de gerentes e engenheiros, a fim de que a organização venha a trabalhar harmoniosamente em direção a objetivos comuns. Todos os outros princípios funcionam porque a cultura da empresa torna os princípios uma parte viva do modo com a empresa funciona.

O terceiro subprocesso consiste nas ferramentas e tecnologias utilizadas para transformar um projeto em produto final. Esse subprocesso é compreendido pelos princípios de 11 a 13:

Princípio 11: Adapte a tecnologia para que sirva ao pessoal e aos processos: agregar tecnologia a um sistema viciado de desenvolvimento de produto não irá gerar valor para a empresa, podendo esta, inclusive, retardar seu desempenho, especialmente no curto prazo. A tecnologia, sozinha, poucas vezes consegue concretizar uma vantagem competitiva de real importância, em parte porque a tecnologia pode ser facilmente copiada por outros. Portanto, é muito mais importante dedicar tempo e esforço a fim de garantir que a tecnologia se adapte aos processos já otimizados e disciplinados e também ao pessoal altamente qualificado e organizado.

Princípio 12: Alinhe a organização mediante comunicação simples e visual: os muitos projetistas e engenheiros focados nas respectivas especializações técnicas devem estar

alinhados. O desdobramento de diretrizes é um método que decompõe objetivos corporativos de alto nível em objetivos com significado para o chão de fábrica. Para dar suporte a esse processo, devem ser usados métodos visuais simples na comunicação dessa informação, quase sempre limitados a uma simples folha de papel.

Princípio 13: Use ferramentas poderosas para a padronização e o processo organizacional: não existe melhoria contínua sem padronização e, conseqüentemente, o aprendizado deve estender-se no nível macro de aprendizagem.

De um modo geral, vários autores analisam a abordagem *lean* por meio de princípios, porém, normalmente são complementos da visão inicial da eliminação de desperdícios como base principal. A partir daí, pode-se agregar uma série de importantes conceitos e então, gerar novos princípios. Entretanto, há de se considerar que os conceitos que aparecem como princípios normalmente estão associados às raízes da formação de uma cultura de eliminação de desperdícios por meio da melhoria contínua e foco no cliente (TEIXEIRA, 2012).

É importante lembrar que os conceitos enxutos no ambiente de desenvolvimento de produto foram derivados dos 5 princípios enxutos de Womak e Jones (1996), descritos no item 2.2 desta Tese.

3.5 Ferramentas Enxutas do Desenvolvimento de Produto

Dal Forno et al. (2008) apresentam uma compilação das ferramentas enxutas do desenvolvimento de produtos mencionadas na literatura. Algumas dessas boas práticas, também chamadas de ferramentas, incluem envolver o fornecedor desde o início do processo de desenvolvimento; possuir poucos e confiáveis fornecedores para criar uma relação de parceria e desenvolvimento conjunto; mapeamento do fluxo de valor e técnicas de planejamento e resolução de problemas; padronização; estrutura organizacional focada em processos envolvendo diversas áreas (marketing, engenharia, produção, vendas, projeto do produto e planejamento e controle da produção); técnicas para capturar a voz do consumidor; gestão visual; preocupação em entender as necessidades dos clientes internos; simulações virtuais para evitar retrabalhos com protótipos; amplo reuso de soluções de projeto já conhecidas e adotadas anteriormente; biblioteca de projetos; registro de lições aprendidas; engenharia simultânea. Na sequência, algumas dessas ferramentas serão definidas.

- Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM – *Value Stream Mapping*): visa desenvolver um retrato do estado atual para visualizar alguns desperdícios e calcular o *lead time*. Após, no mapa do estado futuro e no plano de ação, as melhorias são planejadas.
- Gestão Visual: a gestão visual, seja de forma eletrônica ou física, atenta para a padronização, de modo a facilitar um entendimento comum da equipe, torna os problemas visíveis e mostra o escopo do projeto com indicadores de qualidade, tempo e custo. Um quadro visual com o cronograma das datas e fases dos projetos em andamento auxilia a visualização do cumprimento dos prazos e a tomada de medidas preventivas em tempo, conforme a frequência de conferência do desempenho do projeto (LOCHER, 2008; PARRY e TURNER, 2006).
- SBCE (*Set Based Concurrent Engineering*): na engenharia simultânea baseada em conjuntos de alternativas, toda a equipe do desenvolvimento estabelece e desenvolve um conjunto de alternativas paralelas e independentes ao longo das fases do PDP e, ao final, a melhor alternativa gerada é testada no intuito de fazer certo da primeira vez (KINCADE, REGAN e GIBSON, 2007; SCHÄFER e SORENSEN, 2010; HINES, FRANCIS e FOUND, 2006; MADHAVARAM e APPAN, 2010; SALAH, RAHIM e CARRETERO, 2010; DOLL, HONG e NAHM, 2010; MOLS, 2010; PÊSSOA, LOUREIRO e ALVES, 2007).

Ward (2007) afirma que, durante o desenvolvimento do produto, a rede de comunicação de projeto deve ser estabelecida de tal forma que a informação seja puxada pelo consumidor e não empurrada pelos desenvolvedores. Portanto, como ocorre no chão de fábrica, o ritmo cadenciado e a lógica do fluxo contínuo e puxado também são os elementos operacionais essenciais que garantem a agilidade e os baixos custos dos processos de desenvolvimento.

Desta forma, deve-se garantir que a informação e o conhecimento fluam de maneira cadenciada (*takt time*), contínua (sem esperas e sem retornos) e puxada (de acordo com a demanda real da próxima etapa) durante todo o desenvolvimento (MCMANUS, 2005). A informação deve estar disponível no momento e lugar certo e na quantidade adequada. Também, é essencial a aplicação da engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis soluções. O conceito de *Set Based Concurrent Engineering* (SBCE) será detalhado no item 3.5.3.

3.5.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

Dal Forno et al. (2008) afirmam que com a tendência na redução do ciclo de vida dos produtos, novas ideias são demandadas por um mercado cada vez mais volátil e exigente. Transformar essas ideias em projetos sustentáveis que satisfaçam as necessidades e expectativas dos clientes ao longo do processo de negócio, impacta diretamente na sobrevivência de uma corporação. Com a disseminação dos princípios *lean* (ou enxutos), foram identificadas melhorias nos sistemas produtivos. Busca-se, desde então, guiar o processo pelo valor identificado pelos seus “*stakeholders*” e adaptá-lo de acordo com a cultura da empresa.

No âmbito estrito do desenvolvimento de novos produtos, Womack e Jones (2004) tratam valor como a experiência total obtida em relação a um produto, desde a aquisição até o descarte. Murman et al. (2002) afirmam que os interessados identificam valor de acordo com a maneira que cada um deles percebe o retorno financeiro, benefício, utilidade ou recompensa em troca de sua respectiva contribuição para a empresa desenvolvedora. Os autores ainda afirmam que a percepção de valor evolui com o tempo, com as circunstâncias e com as prioridades. Segundo Pessoa (2006), o valor para os diversos interessados no desenvolvimento de um novo produto não está contido apenas nos produtos e resultados físicos deste processo, ele envolveria percepções muito mais sutis e o próprio relacionamento complexo das percepções de valor do conjunto de resultados e produtos.

A grande aceitação do LT, em âmbito mundial, expressa a importância dos princípios implementados para otimizar o processo de criação de valor. O LT expressa uma abordagem de gerenciamento para os contextos de negócio onde a qualidade, o fluxo, o tempo e o custo desempenham um papel importante na criação do valor. Originalmente, o LT era visto como uma filosofia adequada para ser aplicada a cada atividade de criação de valor. Embora o LT foque no cliente como criador de valor, os engenheiros do processo de desenvolvimento de produto também desempenham um importante papel para a definição de valor, especialmente nas primeiras etapas do desenvolvimento do produto.

Salgado et al. (2009) afirmam que o mapeamento do fluxo de valor do PDP focando a redução de desperdícios é realizado de forma a determinar o nível de agregação de valor das atividades para o cliente. Esta ferramenta pode não ser uma garantia para o sucesso, porém, é útil para o entendimento e melhoria do PDP, dentro de uma transição global para o *lean*. Alguns passos para a utilização do mapeamento do fluxo de valor no PDP são: treinamento da equipe no mapeamento do fluxo de valor; seleção do fluxo de valor, dentro do PDP, para a realização da melhoria; definição dos elementos do fluxo de valor; mapeamento e análise do estado atual; elaboração e análise do mapa futuro ou mapa ideal; implementação dos novos

processos, a fim de atingir o mapa futuro/mapa ideal; manutenção dos resultados e melhoria contínua.

3.5.2 Gestão visual

A gestão visual se caracteriza pela disponibilização das informações sobre produtos, atividades, produção, indicadores de desempenho e várias outras, de modo que seja possível a todos os interessados entenderem rapidamente a situação real. Em adição, ferramentas que auxiliam a visualização de um projeto e a comunicação dentro da equipe do projeto podem ser utilizadas para ajudar os membros da equipe a saberem quais são os seus papéis. São exemplos dessas ferramentas: uma sala dedicada para cada projeto, um projeto gráfico (visual) no início do projeto e listas de tarefas do que precisa ser feito e priorizado. Desta forma, a equipe se sentirá mais envolvida no projeto (MORGAN e LIKER, 2006, REINERTSEN, 2005).

Ferramentas de visualização, tais como mapeamento de processos, mostram as oportunidades de melhoria no processo de DP e permitem às empresas tornar o processo de DP mais fluente. Com base na melhoria contínua e comunicação visual, também é possível aumentar o valor para o cliente, desenvolvendo produtos de alta qualidade e aumentando a qualidade desde o início do projeto (MORGAN e LIKER, 2006).

3.5.3 Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas

De acordo com Kennedy (2003), o modelo de desenvolvimento convencional tende a convergir rapidamente para uma solução, dando uma falsa impressão de que isso diminui as indefinições e incertezas nas fases a jusante. Essa solução é modificada até que satisfaça todos os requisitos do projeto, o que pode ser eficaz desde que não se tenha escolhido inicialmente a solução errada. A ESBC explora simultaneamente várias possibilidades de solução para o projeto, articuladas para os diferentes subsistemas e, gradualmente, elimina as mais fracas até convergir para a solução final, retardando a decisão até que o nível de maturidade do projeto permita tomá-la com o menor risco possível (SOBEK et al., 1999). Dessa forma, é mais provável que a solução final seja realmente a melhor para o projeto, dentre as consideradas. O autor também afirma que o processo de desenvolvimento da Toyota inicia com a declaração de metas, e que as especificações do produto são o resultado do processo e não o seu ponto de partida. Em suma, a ESBC foca o desenvolvimento paralelo de múltiplas soluções alternativas

para o projeto, a fim de reduzir a chance de uma única alternativa falhar e atrasar o projeto. Mais que isso, a ESBC enfatiza o rápido desgaste de soluções fracas e o desenvolvimento de curvas de *trade-off*, entre alternativas de projeto e critérios de avaliação, que são a base do conhecimento que define o limite do possível.

De acordo com Kennedy (2003), para executar a ESBC, é necessária uma força tarefa que possua um técnico com experiência e disciplina, que tome as decisões apropriadas e no tempo certo, além de possuir um bom poder de planejamento.

Os líderes de projeto são chamados de engenheiros chefes e são responsáveis por gerenciar o processo da ESBC, de como convergir para uma solução, dentre tantas possíveis, sem nenhuma especificação existente. Os engenheiros chefe lidam com clientes, disponibilizam recursos e fazem a combinação e o estreitamento das decisões. As pessoas não se reportam a eles, exceto para casos de integração e suporte. São eles que negociam com os gerentes funcionais os recursos humanos e a qualidade do projeto.

Os engenheiros chefe são reconhecidos como os melhores engenheiros da companhia. Cada um deles deve possuir, pelo menos, vinte anos de experiência de projeto em mais do que uma área de atuação. Uma liderança de projeto de alto nível deve demonstrar um grande comprometimento continuamente. A primeira tarefa é criar um senso de urgência. A segunda é estabelecer uma visão do estado futuro, juntamente com objetivos muito claros. Sem um firme comprometimento dos líderes, é praticamente impossível manter o foco no processo de mudança.

Os engenheiros mantêm e comunicam sistematicamente o conhecimento por meio de curvas de *trade off* e análises de resultados baseadas em testes.

Existem muitas atividades de manufatura implícitas no PDP, tais como prototipagem, construção de ferramental, produção piloto, etc. (BALLÉ e BALLÉ, 2005). É importante que exista atenção especial ao processo de preparação para a produção, situado entre as fases de prototipagem e de início da produção, e que é apontado como um dos fatores determinantes da sua competência em atingir mais rapidamente o regime de produção após o lançamento. De acordo com Mascitelli (2004), esse processo deve ser paralelo e análogo ao ESBC, no qual os responsáveis pelo desenvolvimento do processo de manufatura devem ser guiados por um funil, iniciando com conceitos gerais, passando pelas curvas de compensação (*trade-offs*) e terminando com a definição do processo final de manufatura. O processo de fabricação deve ser considerado desde o início do PDP, pois muitas limitações, adaptações e facilidades poderão ser consideradas muito antes de o produto ser direcionado para as linhas de produção, reduzindo o risco de desenvolver produtos que não possam ser fabricados, ou até mesmo

produtos que ocasionariam um elevado grau de desperdício para serem fabricados. O sucesso dos novos produtos é, em grande parte, influenciado por seu processo produtivo. A introdução de novos produtos no ambiente da manufatura influencia o seu desempenho. Segundo Cecconello (2002), incertezas sobre a manufaturabilidade do projeto durante seu desenvolvimento resultam em perdas de oportunidades de negócios, tais como: redução do lucro devido às falhas na escolha do melhor projeto; atrasos na produção, insatisfação dos clientes e custo extra; baixos rendimentos e qualidade inferior do produto; aumento de custos dos inventários e problemas no fluxo de caixa; falhas nos sistemas de previsão de demanda.

Portanto, é importante manter um relacionamento entre a manufatura e as fases iniciais do desenvolvimento, facilitando a manufaturabilidade dos produtos por meio da redução das incertezas. O processo de preparação para a produção e o ESBC devem se realimentar mutuamente, ou seja, à medida que as alternativas de conceito do produto forem propostas, as alternativas de processo para a produção destes conceitos devem ser simultaneamente consideradas, e este ciclo deve perdurar até que se chegue ao conceito de produto e de processo de manufatura definitivo.

3.6 Os Desperdícios no Desenvolvimento de Produto

É importante ressaltar que a busca pela eliminação dos desperdícios de um produto deve ser realizada desde as fases iniciais do seu desenvolvimento e não apenas quando este é endereçado às linhas de produção. Identificar e eliminar previamente as possíveis fontes de desperdícios resulta em ganhos competitivos para a organização, mediante a possibilidade de redução do tempo de desenvolvimento, riscos e custos. Segundo Rozenfeld et al. (2006), os custos de modificações do produto crescem exponencialmente com o tempo e é na fase de projeto conceitual que as decisões tomadas possuem o maior impacto nos custos de um produto. Portanto, o pensamento enxuto deve estar presente no produto desde sua concepção, uma vez que as eliminações prévias de desperdícios reduzem a probabilidade de modificações tardias, que tendem a ser mais complexas e de maior custo.

A base para o entendimento do que se convencionou chamar “Filosofia *Lean*” está no entendimento do que é “valor para o cliente”, ou seja, quais as atividades e características que efetivamente agregam valor ao produto, sendo valor entendido como tudo aquilo que o cliente identifica e se dispõe a pagar por ele. A partir disso a “Filosofia *Lean*” usa uma série de métodos e ferramentas procurando identificar tudo que consome recursos, mas que não representa valor para o cliente, os chamados desperdícios, buscando sua eliminação de

maneira sistemática através de esforços focados de melhoria (*kaizens*). Alguns autores já desenharam um paralelo de quais seriam os diferentes tipos de desperdícios existentes nos processos de desenvolvimento de produtos. Bauch (2004) cita a seguinte classificação:

- Espera: tempo em que o fluxo de valor não fluiu, ou seja, permanece estático (pessoas esperando por algo atrasado ou que não foi feito, informações esperando por pessoas ou pessoas aguardando por capacidade disponível de recursos);
- Transporte/passagem de responsabilidade: transmissão ineficiente ou excesso de manuseio da informação;
- Movimento: movimento das pessoas devido aos problemas para um acesso direto a ferramentas, pessoas, dados ou sistemas;
- Processos desnecessários: inerente a um processo não otimizado, ou seja, a existência de etapas ou funções do processo que não agregam valor ao produto;
- Estoque: grandes lotes de informações aguardando processamento ou liberação, estoque de equipamento e protótipos que são desnecessários ou subutilizados, armazenamento excessivo de dados, filas dentro do caminho crítico, alta variabilidade do sistema e utilização além da capacidade (mesmo quando usada para recuperar atrasos, aumenta os custos e normalmente desestabiliza todo o desenvolvimento);
- Super-produção e processos não-sincronizados: distribuição excessiva de informações (ao invés de uma distribuição seletiva) e falta de sincronização entre os processos;
- Defeitos: dados ou informações erradas, deficiência na qualidade da informação, e baixa qualidade nos testes e verificações;
- Reinvenção: baixa reutilização de projetos de engenharia já existentes e baixo aproveitamento de conhecimento já desenvolvido; reinvenção de processos, soluções, métodos e produtos que já existem ou que somente necessitam de poucas modificações para torná-los adequados ao problema em questão.
- Falta de disciplina no processo: objetivos e metas obscuros, papéis, responsabilidades e deveres obscuros, regras obscuras, indisciplina em relação ao planejado, insuficiente predisposição para cooperar, e falta de competência ou de treinamento;
- Recursos de tecnologia da informação limitados: compatibilidade pobre entre *hardware* e *software*, baixa capacidade e disponibilidade.

Como mencionado no item 3.3, (McMANUS, 2005) classifica alguns desperdícios de informação, sendo eles: (1) atraso da disponibilização da informação; (2) estoques de informações grandes, complexos ou obsoletos; (3) informações excessivamente trabalhadas;

(4) criação e disponibilização de informações desnecessárias; (5) problemas no transporte de informações; (6) movimentos desnecessários como reformatação ou dificuldades de acesso direto; e (7) informações incompletas, sem revisões, verificações etc.

Como forma de eliminar ou reduzir esses desperdícios, Lovro (2008) sugere que haja foco na criação de fluxos de valor rentáveis, de maneira que o produto seja projetado conjuntamente com as operações das quais resultará, pois isso é fundamental para que se consiga otimizar a utilização dos recursos. Além disto, é essencial que haja um líder empreendedor experiente, com visão sistêmica.

Ward (2007) classifica alguns desperdícios de conhecimento e afirma que considerar esses desperdícios ajudará a empresa a: decidir se e o que mudar; construir uma mudança; identificar coisas que devem ser mudadas imediatamente; entender o sistema de aprendizagem; adaptar o sistema enxuto à sua situação atual; e continuar a melhorar. De acordo com o autor o desperdício mais importante em desenvolvimento é o de conhecimento. Existem três categorias primárias de desperdício de conhecimento, cada uma com duas categorias adicionais associadas. A figura 3.1 ilustra essas categorias.

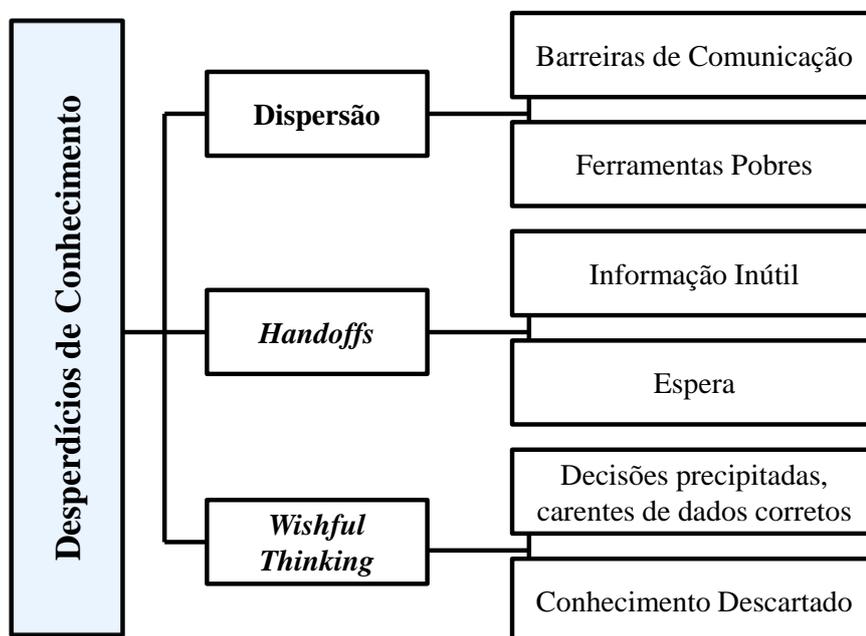


FIGURA 3.1 – Categorias de desperdício de conhecimento (WARD, 2007)

A dispersão está relacionada com o desperdício decorrente de mudanças frequentes no modo de se fazer as coisas. Perde-se conhecimento e *know-how* adquiridos ao longo do tempo. A todo momento inicia-se uma nova curva de aprendizagem, requerendo

requalificações. O problema pode se agravar à medida que mudanças tornam-se mais constantes e abrangentes.

Em relação aos “*handoffs*”, os mesmos ocorrem quando conhecimento, responsabilidade, ação e *feedback* não são tratados como um todo. Muitas empresas separam essas quatro dimensões, fragmentando as atividades ao máximo, acreditando que, quanto maior a divisão do trabalho, melhor. Isso se torna um grande problema, pois resulta em tomadas de decisão por pessoas que não possuem conhecimento suficiente para isso ou, então, que não possuem a oportunidade para fazer a decisão acontecer. Por exemplo, o gerente decide o que fazer (responsabilidade), o especialista define o processo e suas regras (conhecimento), o operador executa (ação) e isso será sempre feito da mesma maneira (falta de *feedback*). Outros exemplos são: especialistas determinam os parâmetros para o *design*, mas não os executam. Supervisores de engenharia aprovam as partes, mas não participam do *design* das mesmas. O projetista determina as formas, mas não domina as técnicas de engenharia e possui pouca responsabilidade sobre o desempenho do projeto. Os “*handoffs*” causam a geração de informação inútil, que é aquela que não ajuda a entender o cliente ou outras questões de integração, não inova e não fornece base para boas decisões. Isso acontece, muitas vezes, quando os engenheiros de desenvolvimento precisam gerar informações para os gerentes, que demandam por informações para manter o controle, e, enquanto isso, deixam de resolver os problemas que surgem durante o desenvolvimento.

O desperdício advindo do “*wishful thinking*” está relacionado com as decisões tomadas sem dados suficientes, de forma precipitada, carentes de dados corretos, experimentações e questionamentos adequados, devido ao fato do desenvolvimento iniciar com as especificações. No início do projeto, os clientes não sabem o que realmente querem e os engenheiros de desenvolvimento não sabem qual caminho irão seguir, pois somente podem se basear em dados antigos. Isso causa desperdícios que vão acumulando-se ao longo do tempo. Estabelecer as especificações no início do projeto é uma informação empírica que, comumente, impõe inúmeras restrições ao longo do ciclo de vida do mesmo e, frequentemente, produz perdas de mercado, custos excessivos e vários problemas de qualidade. Testar aquilo que já está especificado pode não mostrar que o produto está pronto para o mercado, pois estatisticamente é impossível de se testar o suficiente até que se esteja confiante em atender uma moderna demanda de qualidade. No LD, testes primários são realizados para encontrar os pontos de falha e, então, o projeto é desenvolvido para estar fora dos pontos de falha (WARD, 2007).

O quadro 3.1 apresenta algumas situações comuns no desenvolvimento de produto, algumas respostas convencionais e como elas criam a dispersão.

QUADRO 3.1 – Dispersão e suas consequências (Ward, 2007)

Situação	Resposta Convencional	Efeito Dispersivo	Resposta Enxuta (<i>Lean</i>)
As atividades são mal feitas	Reorganize (pessoas precisam aprender novas funções – perda de tempo)	Interação do conhecimento obsoleta	Encontre a causa raiz
O projeto está indo para trás	Adicione mais engenheiros de desenvolvimento ao time	Comunicação rompida	Contribuição dos supervisores
Os agentes de compras estão demorando a encontrar fornecedores	Cobre os agentes mais frequentemente (agentes mais pressionados, podem cometer mais erros)	Compras dispersas	Encontre e atue na causa raiz
Falhas de produtos constantes	Adicione mais tarefas e listas de conferências ao processo de desenvolvimento	Engenheiros de desenvolvimento dispersos	Encontre e atue na causa raiz
Os clientes querem algo novo	Adicione um projeto de desenvolvimento apressadamente	Sobrecarga de recursos, novas falhas nos produtos	Frequência estável de inovação
Problemas com o sistema de manufatura	Mantenha os engenheiros de manufatura no projeto até que o sistema funcione corretamente	Engenheiros de manufatura não disponíveis para o próximo projeto, problemas repetitivos	Uso do ESBC, rotação de pessoas da planta para o time

As barreiras de comunicação, associadas à dispersão, impedem diretamente o fluxo de conhecimento. São constituídas de barreiras físicas (distâncias), barreiras sociais

(comportamentos gerenciais que evitam comunicação), barreiras de habilidade (pessoas que não sabem como transformar dados em conhecimento útil) e canais de informação ruins (WARD, 2007).

Salgado et al. (2009) fizeram uma análise, a partir da compilação de publicações de diversos autores, dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta, bem como dos desperdícios do processo de desenvolvimento de produto. Os autores elaboraram uma síntese, apresentada no quadro 3.2, que identifica as ferramentas que melhor se adaptam para tratar os desperdícios do PDP. A análise do quadro indica que o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta útil na identificação de todos os desperdícios do PDP.

QUADRO 3.2 – Aplicação das ferramentas da manufatura enxuta nos desperdícios do processo de desenvolvimento de produto (SALGADO et al., 2009)

Desperdício do processo de desenvolvimento de produto	Ferramentas enxutas aplicáveis
Espera	Mapeamento do fluxo de valor Manutenção produtiva total Melhoria na relação cliente/fornecedor. Redução do número de fornecedores Produção sincronizada Recebimento/fornecimento <i>just in time</i>
Transporte	Mapeamento do fluxo de valor Tecnologia de grupo Trabalho em fluxo contínuo/redução do tamanho de lote Manutenção produtiva total
Movimento	Mapeamento do fluxo de valor Trabalho em fluxo contínuo/redução do tamanho de lote 5S
Processos desnecessários	Mapeamento do fluxo de valor 5S
Estoque	Mapeamento do fluxo de valor Trabalho em fluxo contínuo/redução do tamanho de lote
Super-produção	Mapeamento do fluxo de valor

	5S Produção sincronizada
Defeitos	Mapeamento do fluxo de valor Ferramentas de controle da qualidade Zero defeito Ferramentas à prova de erros
Reinvenção	Mapeamento do fluxo de valor Medidas de desempenho Tecnologia de grupo Gráficos de controle visuais
Falta de disciplina no processo	Mapeamento do fluxo de valor <i>Empowerment</i> Trabalho em equipes Medidas de desempenho Comprometimento dos funcionários e alta gerência Trabalhador multi-habilitado/rodízio de funções Treinamento de pessoal
Recursos de tecnologia da informação limitados	Mapeamento do fluxo de valor Tecnologia de grupo

3.7 Alguns Estudos de Caso Apresentados na Literatura

Não foram encontrados na literatura *surveys* a respeito da aplicação dos princípios enxutos no processo de desenvolvimento de produto. No entanto, alguns estudos de caso foram encontrados e, alguns deles, são descritos abaixo.

Salgado et al. (2009) realizaram um estudo de caso em uma pequena empresa do mercado de autopeças, onde o desenvolvimento de produto é realizado sob encomenda, aplicando a ferramentas de mapeamento do fluxo de valor, a fim de identificar desperdícios no processo de desenvolvimento de produto. Foi realizado um treinamento sobre a ferramenta para os funcionários da área e, em seguida, foram definidos os elementos do fluxo de valor e mapeado e analisado o mapa atual do PDP da empresa estudada. Foram identificados desperdícios como espera pela liberação do projeto, problemas de incompatibilidade, pouca utilização de conhecimento, pouca reutilização de projetos, movimentação desnecessária de pessoas, distância entre os setores, retrabalho, tarefas interrompidas e filas no caminho crítico.

Na sequência, com base nos princípios enxutos, foram propostas soluções para a eliminação dos desperdícios identificados e foi elaborado um mapa do estado futuro. Eles obtiveram um aumento na taxa de agregação de valor e na eficiência, enquanto o *lead time* sofreu uma diminuição. Esses resultados mostram que o LT pode trazer grandes benefícios se aplicado ao PDP.

Tarallo e Forcellini (2007) fizeram um estudo de caso em uma grande empresa multinacional, aplicando o mapeamento do fluxo de valor na atividade “teste de campo” do modelo de processo de desenvolvimento de produto utilizado pela empresa. Esta atividade envolve a avaliação do produto, ainda em desenvolvimento, na casa de consumidores, sob condições reais de uso, do ponto de vista técnico e comercial, a fim de confirmar seu desempenho. Foi desenhado o mapa de fluxo de valor do estado atual e, na sequência, o mapa de fluxo de valor do estado futuro, contemplando uma séria de melhorias a partir dos problemas identificados no estudo de caso. Foram obtidas redução de *lead time* e de custos muito significativos, indicando, pelo menos neste caso, que o LT se aplica muito bem ao PDP.

Em um estudo de caso em uma empresa de grande porte, do setor eletro eletrônico, Dal Forno et al. (2008) mostram que, devido ao atual cenário competitivo, a empresa começou a repensar a maneira de gerenciar seu PDP. Na busca por soluções para aprimorar este processo, a empresa, que possui uma estrutura de manufatura e logística alinhada com os princípios *lean*, optou por implementar princípios enxutos no PDP, mais especificamente na fase de Projeto Conceitual. Além da competitividade do mercado e das empresas possuírem menos tempo e mais restrições orçamentárias para realizarem seus projetos, outro fator contribuiu para a implementação dos princípios enxutos no PDP. A necessidade do projeto se enquadrar em um programa de fomento à inovação do Governo Federal Brasileiro, para usufruir do benefício do subsídio financeiro. As dificuldades citadas, que levaram a empresa a pensar em um PDP enxuto, eram potencializadas pelo distanciamento geográfico da equipe e seu gerenciamento virtual em estados de diferentes regiões do Brasil. O primeiro passo foi elaborar um Mapeamento do Fluxo Valor. Após realizar um diagnóstico para identificar os desperdícios e reduzi-los, uma nova representação do PDP foi elaborada. Com isso, foi possível um aumento na eficiência do processo, eliminando desperdícios que foram encontrados com o uso do mapeamento de fluxo de valor e uma redução do tempo de projeto.

4. MÉTODO DE PESQUISA

4.1 Abordagem e Método de Pesquisa

Em relação à abordagem de pesquisa, Gunther (2006) enfatiza que a decisão teórico-metodológica de uma pesquisa deve ser pautada na abordagem que traga maior contribuição para a compreensão do fenômeno estudado e não somente na distinção entre abordagem qualitativa ou quantitativa. O autor afirma, ainda, que uma abordagem quantitativa possui como objetivo o processamento de dados numéricos, com o intuito de se obter as inferências emergentes da compreensão sobre os relacionamentos estabelecidos entre as variáveis.

De acordo com Bryman (1989) a abordagem quantitativa busca obter dados representativos das populações dos indivíduos e possui as seguintes características: as variáveis de pesquisa encontram-se bem definidas; possui capacidade de mensurar causa e efeito; o pesquisador não possui interação diretamente com o objeto de estudo. Esse tipo de estudo permite ao pesquisador identificar as variáveis de pesquisa a partir da literatura, sendo que as mesmas podem ser testadas de maneira a contribuir com uma teoria, sem que o pesquisador interaja, necessariamente, com os indivíduos analisados.

Freitas et al. (2000) afirmam que o principal objetivo da abordagem quantitativa é identificar quais situações estão presentes em uma população, bem como descrever a distribuição do resultado entre os subgrupos da população o que atribui a esta abordagem um caráter descritivo.

Diante do conteúdo apresentado na literatura e fazendo uma correlação com os objetivos e problema de pesquisa desta Tese, temos que a mesma possui uma abordagem de pesquisa quantitativa.

Em relação ao método de pesquisa, Freitas et al. (2000), afirmam que o método de pesquisa tipo *survey* é normalmente realizado quando se tem interesse em produzir descrições quantitativas de uma população, utilizando-se, para a obtenção de dados, um instrumento pré-definido, geralmente um questionário estruturado ou entrevistas. Para Pinsonneault e Kraemer (2003), a pesquisa *survey* possui três características:

- É um método quantitativo que requer informações padronizadas sobre o objeto de estudo, sendo que este pode ser uma organização, indivíduos, grupos ou comunidades;
- O principal modo de coletar as informações é por meio de um instrumento pré-definido, com questões estruturadas;

- As informações são, geralmente, coletadas sobre uma fração da população em estudo (uma amostra), de forma que o tamanho da amostra seja grande o suficiente para permitir extensiva análise estatística, isto é, o número de unidades analisadas é representativo do universo do objeto de estudo em questão. Dessa forma, os resultados obtidos apresentam a validação externa necessária para realização de generalizações estatísticas ou teste de validade de hipóteses sobre a realidade estudada.

O *survey* busca examinar padrões e relacionamentos entre um conjunto limitado de variáveis a fim de compreender a relevância de um fenômeno e como ele se configura no âmbito de uma população. Assim, o foco de interesse é se, como e porque o fenômeno está acontecendo, não sendo possível controlar as variáveis dependentes e independentes (FORZA, 2002).

Com isso, o método de pesquisa adotado para esta Tese foi o *survey*.

4.2 Modelo de Pesquisa

De acordo com Forza (2002), antes de se iniciar uma pesquisa tipo *survey*, deve-se estabelecer um modelo conceitual de pesquisa, no qual é necessário especificar as variáveis envolvidas na pesquisa, a classificação das variáveis envolvidas, a relação existente entre as variáveis e a delimitação do escopo da pesquisa.

Em relação à classificação das variáveis de pesquisa, as mesmas podem ser de três tipos (COSTA NETO, 2011):

- Variáveis Independentes (VI): são aquelas que influenciam as variáveis dependentes, mantendo com estas uma relação positiva ou negativa. As variáveis independentes desta Tese são os princípios *lean* e as ferramentas do *Lean Manufacturing*, bem como as ferramentas e princípios do *Lean Development*.
- Variáveis Dependentes (VD): são aquelas cujos resultados sofrem interferência direta da ação das variáveis independentes. Nesta tese, as variáveis dependentes representam o desempenho do PDP na empresa, sendo definidas como a redução de desperdícios e o aumento do valor agregado pela empresa.
- Variáveis de Controle (VC): são aquelas que produzem um efeito significativo na relação entre variáveis dependentes e independentes. Dessa forma, a presença das variáveis de controle modifica a relação, originalmente esperada, entre as variáveis dependentes e independentes, afetando o grau de relacionamento de ambas. As variáveis de controle desta

Tese correspondem ao porte da empresa (pequeno, médio e grande porte), nacionalidade da empresa, mercado de atuação da empresa, importância estratégica do PDP para a empresa, tipo de processo utilizado na empresa, tempo de aplicação do *Lean Manufacturing* na empresa e complexidade/escopo do PDP na empresa.

As variáveis de pesquisa foram definidas de maneira que abrangessem os objetivos e o problema de pesquisa, de forma clara e objetiva, para que fosse possível, no momento do tratamento dos dados, realizar as correlações necessárias para a obtenção e análise dos resultados. A partir dos princípios e ferramentas enxutos aplicados à manufatura e ao PDP, encontrados na literatura, foram definidas as variáveis de pesquisa. Para a definição das variáveis independentes relacionadas ao *Lean Manufacturing*, foram utilizados somente os princípios e ferramentas enxutos que também são utilizados no PDP. Com isso, procurou-se evitar que o grupo B do questionário (*Lean Manufacturing*) ficasse demasiadamente extenso, o que poderia levar a uma baixa taxa de respostas. Com relação à definição das variáveis independentes relacionadas ao *Lean Development*, alguns princípios e/ou ferramentas enxutos não foram utilizados por já estarem bastante difundidos em outras abordagens de gestão do PDP como, por exemplo, na Engenharia Simultânea. Com isso, procurou-se focar nos princípios e ferramentas mais específicos do *Lean Development*, a fim de tornar o grupo C do questionário (*Lean Development*) o mais enxuto possível e aumentar a taxa de respostas.

Antes de testar a relação existente entre os diferentes tipos de variáveis identificadas, Forza (1996) afirma que é necessário traduzi-las em elementos operacionais observáveis e/ou passíveis de medição, isto é, realizar a operacionalização dos constructos, por meio da apresentação de elementos que serão tomados como base de observação para análise de cada constructo. Para isso, as variáveis dependentes e independentes foram desdobradas em um conjunto de elementos que pudessem transcrever, ou ilustrar mais claramente, essas variáveis no questionário estruturado. Em outras palavras, foram definidos elementos (E) para tais variáveis, a fim de que os mesmos pudessem representá-las, ou transformá-las, em questões claras e objetivas no questionário estruturado. A definição dos elementos relacionados a cada variável foi realizada com base na revisão bibliográfica dos capítulos 2 e 3. Com isso, as variáveis independentes e seus respectivos elementos, estão apresentados na tabela 4.1. A tabela 4.2 apresenta as variáveis dependentes e seus respectivos elementos. As tabelas também indicam a literatura utilizada como base para a definição das variáveis de pesquisa.

Cada variável pode estar direta ou indiretamente relacionada à uma ou mais questões do questionário, por meio de seus elementos.

Em relação às variáveis de controle (VC), as mesmas foram numeradas da seguinte maneira:

VC1: Porte da empresa

VC2: Nacionalidade da empresa

VC3: Mercado de atuação da empresa

VC4: Importância estratégica do PDP para a empresa

VC5: Tipo de processo de manufatura utilizado na empresa

VC6: Tempo de aplicação do *Lean Manufacturing* na empresa

VC7: Complexidade/escopo do PDP na empresa

TABELA 4.1 – Variáveis independentes e seus respectivos elementos

Variável Independente (VI)	Elemento (E)
VI 1: Princípios <i>lean</i> (WOMACK e JONES, 2006)	E1: Existência de um programa oficial de <i>Lean Manufacturing</i> E2: Disseminação das práticas enxutas para os funcionários E3: Envolvimento da alta gestão no programa de <i>Lean Manufacturing</i>
VI 2: Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> (MARCHWINSKI e SHOOK, 2007)	E4: Aplicação de ferramentas estatísticas de controle de processo E5: Utilização de <i>layout</i> adequado (fluxo de material e redução de distâncias) E6: Utilização de padronização do trabalho na manufatura
VI 3: Ferramentas do <i>Lean Development</i>	E7: Aplicação do mapeamento do fluxo de valor no PDP (WOMACK e JONES, 2004) E8: Utilização da ESBC (SOBEK et al., 2009; KENNEDY, 2003) E9: Gestão visual do andamento dos projetos (MORGAN e LIKER, 2006)
VI 4: Princípios do <i>Lean Development</i> (MORGAN e LIKER, 2006)	E10: Aplicação dos conceitos enxutos no PDP E11: Existência de equipes de projeto dedicadas E12: Existência de um líder de projeto/engenheiro chefe com grande experiência na área de projeto E13: Desenvolvimento das capacidades técnicas dos engenheiros de desenvolvimento E14: Envolvimento da alta administração em todas as etapas do PDP E15: Reutilização do conhecimento E16: Integração entre as áreas de PDP e manufatura

TABELA 4.2 – Variáveis dependentes e seus respectivos elementos

Variável Dependente (VD)	Elemento (E)
VD 1: Redução de desperdícios (WARD, 2007)	E17: Redução do número de protótipos E18: Redução do retrabalho durante o desenvolvimento do projeto E19: Redução na necessidade de repetição de testes E20: Redução de horas de desenvolvimento de produto
VD 2: Aumento do valor agregado (WARD, 2007)	E21: Aumento na margem de lucro dos novos produtos E22: Melhoria na relação custo/benefício para os clientes

Interpretando as variáveis, passo a passo, temos que as variáveis independentes VII e VI2 trarão informações a respeito do nível de implantação do *Lean Manufacturing* na empresa. A partir daí, as variáveis independentes VI3 e VI4 vão mostrar se a empresa está aplicando os conceitos enxutos da manufatura no PDP. Porém, nesse contexto, existem as variáveis de controle VC1, VC2, VC4, VC6 e VC7, que podem atuar de maneira a interferir na concretização desse objetivo. Por exemplo, a VC1, porte da empresa, pode interferir significativamente na decisão da empresa possuir, ou não, interesse, ou condições, de aplicar os conceitos enxutos no PDP. Ou seja, não basta apenas que a empresa tenha interesse. As variáveis de controle podem interferir, prejudicando ou auxiliando a empresa em tal decisão. A VC2, nacionalidade da empresa, também é uma variável de controle importante, pois, dependendo da nacionalidade da empresa, os conceitos enxutos são mais ou menos maduros e pode haver algum programa de LM global, sendo que as empresas brasileiras podem receber algum apoio da matriz internacional, em termos de recursos, para a aplicação do programa em suas plantas. A VC4, importância estratégica do PDP para a empresa, e a VC7, complexidade/escopo do PDP na empresa, atuam de maneira que se a empresa não possui o PDP como uma área estratégica de competitividade ou se o PDP na empresa (planta da amostra) não possui um escopo muito amplo, pode não existir interesse em investir recursos para expandir os conceitos enxutos para o PDP. O último exemplo seria a VC6, que considera o tempo de aplicação do LM na empresa. Se a empresa possui o LM implantando há pouco tempo, pode ser que os conceitos enxutos não estejam suficientemente difundidos, implementados ou mesmo compreendidos, a ponto da empresa conseguir aplicá-los no PDP.

Na sequência da interpretação, temos que, após a obtenção das variáveis que irão mostrar o nível de maturidade do LM na empresa e se a empresa aplica os conceitos enxutos no PDP, teremos a obtenção das variáveis que irão mostrar se, além de aplicar os conceitos

enxutos no PDP a empresa conseguiu, de fato, evoluir os conceitos enxutos para o PDP, ou seja, se a empresa conseguiu transformá-los em resultados. As variáveis dependentes VD1 e VD2 irão proporcionar a compreensão dessa avaliação. Porém, nesse contexto, temos as variáveis de controle VC3, mercado de atuação da empresa, e VC5, tipo de processo utilizado na empresa. Ou seja, dependendo do mercado de atuação da empresa, pode ser que a empresa não consiga transformar os conceitos do LM em resultados no PDP. O tipo de processo utilizado na empresa também é importante, pois pode ser que a empresa consiga aplicar os conceitos enxutos no PDP mas, devido ao tipo de processo, isso não venha a gerar resultados.

A análise multivariada irá agrupar as empresas de acordo com os princípios, ferramentas e métodos que estão sendo adotados no PDP, bem como os esforços que estão sendo direcionados para essa finalidade e, também, os resultados obtidos.

4.2.1 Hipóteses de Pesquisa

Conforme recomendado por Forza (2002), uma vez definidas as variáveis e suas inter-relações, os constructos/elementos e o escopo da pesquisa, devem ser propostas hipóteses que traduzam tais inter-relações com o problema de pesquisa identificado. As hipóteses de pesquisa (H) foram definidas de maneira a alcançar esse objetivo, e estão apresentadas abaixo.

- H1: As empresas que possuem um elevado nível de implantação em *Lean Manufacturing* apresentam os melhores resultados no PDP.
- H2: As empresas que aplicam os princípios e ferramentas específicas do *Lean Development* no PDP apresentam os melhores resultados no PDP.

Com base na definição das variáveis de pesquisa, seus elementos e as hipóteses de pesquisa, foi elaborado um modelo de pesquisa, apresentado na figura 4.1.

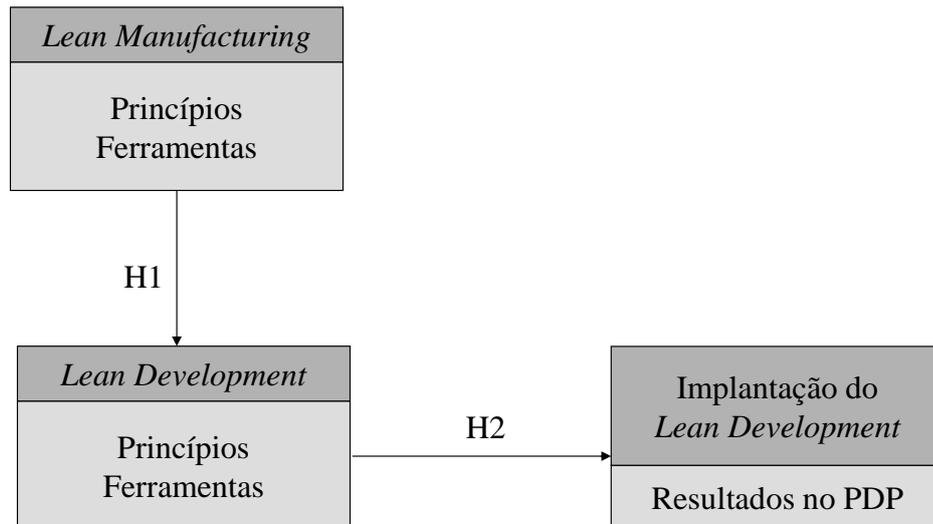


FIGURA 4.1 – Esquemática do modelo de pesquisa

4.3 Instrumento de Coleta

Forza (2002) afirma que os dados para o *survey* podem ser coletados, principalmente, por entrevistas e questionários, sendo que as entrevistas podem ser realizadas pessoalmente ou por telefone e os questionários podem ser administrados por telefone, pessoalmente, ou por envio de correspondências. Freitas et al. (2000) diz que a escolha do método deve levar em consideração o custo, tempo e a garantia da taxa de respostas aceitável.

Segundo Mattar (2005), o questionário estruturado é um conjunto de perguntas que o respondente lê e responde sem a presença de um entrevistador. Tanto Mattar (2005) quanto Marconi e Lakatos (2007) citam que as vantagens do uso de questionários em relação às entrevistas estão na necessidade de menos pessoas, menores custos, tempo e viagens, além de não sofrer influência do entrevistador. Entretanto, as desvantagens estão no baixo índice de devolução, grande quantidade de perguntas em branco, falta de confiabilidade das respostas, demora na devolução e maior possibilidade de respostas equivocadas.

Considerando-se os objetivos a serem atingidos pela Tese, optou-se pela utilização de questionários estruturados, a fim de avaliar objetivamente e sistematicamente as respostas e permitir maior agilidade para a avaliação dos resultados.

Marconi e Lakatos (2007) afirmam que as questões do questionário estruturado podem ser classificadas em aberta ou fechadas.

As vantagens das perguntas fechadas são que elas propiciam respostas uniformes, sendo mais fácil fazer uma comparação. Porém, as distinções sutis entre um e outro pesquisado podem não ser detectadas, além do fato de que o pesquisado pode não ter

certeza da melhor resposta a escolher. O questionário elaborado nessa tese tenta amenizar essas desvantagens, criando um espaço para observações e comentários por parte do pesquisado, quando este se encontrar em dúvida ou julgar necessária alguma observação adicional.

Para a elaboração do questionário estruturado, foram utilizadas as recomendações de Rea e Parker (2000), Forza (2002) e Gil (1991):

- Para questões fechadas, as alternativas devem possuir todas as possíveis respostas;
- A implicação das perguntas para com a análise dos dados deve ser considerada;
- Somente devem ser elaboradas questões relacionadas ao problema de pesquisa;
- As perguntas devem ser redigidas de forma clara, de forma a evitar dupla interpretação por parte do entrevistado;
- Não devem ser elaboradas perguntas incômodas que possam constranger o entrevistado;
- O número de perguntas deve ser limitado;
- A sequência de perguntas deve ser considerada de forma a não induzir a resposta do entrevistado.

Forza (2002) atenta para algumas regras que devem ser seguidas durante a aplicação dos questionários, a fim de aumentar a taxa de retorno por parte dos pesquisados, bem como aumentar a qualidade e a assertividade das respostas. Dentre elas, destacam-se: informação a respeito do objetivo/finalidade da pesquisa; clareza em relação à confidencialidade e segurança das informações fornecidas; informação da duração aproximada de conclusão/preenchimento do questionário. A fim de atender essas regras, foi elaborada uma carta de apresentação para ser enviada ao entrevistado juntamente com o questionário. Essa carta encontra-se no Apêndice A.

Para Synodinos (2003), o número de questões de um *survey* não deve ser grande e os pesquisados, ou respondentes, deverão ser capazes de entender as alternativas sem a ajuda de um mediador. Além disso, a linguagem utilizada deve ser simples e cada questão deve ser somente relativa a uma pergunta, evitando, dessa forma, a ambiguidade. Uma recomendação importante é aplicar um pré-teste do questionário. O autor afirma que o teste do questionário é essencial, pois é possível identificar questões importantes que ainda não foram formuladas, bem como questões a serem reformuladas. Vale ressaltar, também, que é possível identificar a necessidade de reestruturar o corpo do questionário, a fim de reduzir o número de questões.

Todas essas recomendações foram levadas em conta na elaboração do questionário desta Tese, sendo que as perguntas foram elaboradas de maneira objetiva, evitando interpretações dúbias e, em relação à duração do questionário, foi considerada a escassez do tempo por parte dos pesquisados e, portanto, procurou-se incorporar todas as variáveis e quesitos no menor número possível de questões e, também, garantir clareza e suavidade nas mesmas. Esperou-se também, com isso, obter uma alta taxa de retorno. O questionário foi aplicado a cinco acadêmicos das áreas de engenharia de produção e administração de empresas, a fim de aperfeiçoar o questionário, adequando as questões frente aos objetivos da pesquisa, por meio da experiência desses profissionais.

Foi realizado um pré-teste, ou teste piloto, do questionário em cinco empresas: uma do mercado de linha branca, uma do mercado aeronáutico, uma do mercado de alimentos, uma do mercado de bens de consumo e uma do mercado químico. O pré-teste foi aplicado de maneira presencial nas cinco empresas com o gerente ou coordenador da área de desenvolvimento de produto. A entrevistadora (pesquisadora) teve como objetivo atentar-se para as eventuais dificuldades do entrevistado em relação ao entendimento das perguntas e em encontrar a resposta adequada nas alternativas (no caso de questões fechadas). Foi avaliada, ainda, a clareza do questionário, de modo geral, e todas e quaisquer dúvidas que surgiram por parte do entrevistado. Com isso, verificou-se se o questionário estava adequado para fornecer dados relevantes, a fim de responder os problemas de pesquisa desta Tese, bem como validar, ou não, as hipóteses de pesquisa e atingir, com isso, o objetivo principal da Tese. Após o pré-teste o questionário foi refinado, mais especificamente em termos das opções de respostas disponíveis para as questões fechadas, a fim de evitar dúvidas por parte do entrevistado no momento de responder essas questões.

O questionário foi enviado por correio eletrônico (*e-mail*) para as mesmas cinco empresas que realizaram o pré-teste, a fim de obter o grau preliminar de confiabilidade do questionário de pesquisa por meio do fator *Alpha* de Cronbach, o qual foi calculado por meio do *software* XLSTATS versão 7.5.2. De acordo com Hair et. al (2005), o questionário, bem como a métrica utilizada, são adequados uma vez que o valor do *Alpha* de Cronbach é superior a 0,7. O valor calculado para o *Alpha* de Cronbach foi de 0,955, indicando que os respondentes se posicionaram de maneira coerente em relação à resposta do questionário e validando-o como instrumento dessa pesquisa.

A partir daí, o questionário foi aplicado em todas as empresas da amostra. O questionário final, enviado para as empresas pesquisadas e utilizado para a coleta dos dados, está apresentado no Apêndice B.

O questionário, juntamente com a carta de apresentação (Apêndice A), foram submetidos diretamente ao responsável pela área de desenvolvimento de produto das empresas por correio eletrônico (*e-mail*). Para isso, a pesquisadora entrou, primeiramente, em contato por telefone com as empresas pesquisadas, a fim de obter corretamente o nome e endereço de e-mail do responsável pela área de desenvolvimento de produto.

A tabela 4.3 apresenta uma correlação das variáveis de pesquisas com as questões do questionário.

TABELA 4.3 – Correlação das variáveis de pesquisa com as questões do questionário

Variável de pesquisa	Grupo do questionário	Número da questão
VI 1: Princípios <i>lean</i>	B	2 e 3
VI 2: Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i>	B	4, 5, 6 e 7
VI 3: Ferramentas do <i>Lean Development</i>	C	4, 5, 6, 7, 8, 11 e 12
VI 4: Princípios do <i>Lean Development</i>	C	1, 2, 3, 9, 10, 13, 14 e 15
VD 1: Redução de desperdícios	D	1, 2, 3 e 4
VD 2: Aumento do valor agregado	D	5 e 6
VC 1: Porte da empresa	A	6
VC 2: Nacionalidade da empresa	A	4
VC 3: Mercado de atuação da empresa	A	5
VC 4: Importância estratégica do PDP para a empresa	A	7 e 8
VC 5: Tipo de processo de manufatura utilizado na empresa	A	10
VC 6: Tempo de aplicação do <i>Lean Manufacturing</i> na empresa	B	1
VC 7: Complexidade/escopo do PDP na empresa	A	9

4.4 Unidades de Análise e Seleção da Amostra

As unidades de análise desta Tese são empresas que estão inseridas na população de empresas industriais brasileiras que possuem o *Lean Manufacturing* implantado, ou em fase de implantação, há pelo menos cinco anos, realizam atividades de desenvolvimento de produto e trabalham com inovação. Esses foram os critérios utilizados na busca que gerou a amostragem pesquisada.

A escolha por unidades de análise que possuem o *Lean Manufacturing* deu-se pelo fato de que estas já deveriam ser detentoras dos conceitos enxutos e, assim, poderiam estar buscando aplicar tais conceitos em outras áreas da organização, e em processos mais a montante da manufatura como o processo de desenvolvimento de produto. O tempo de utilização dos conceitos *lean* na manufatura tende a fortalecer esses conceitos na empresa, de maneira a contribuir para que a expansão desses conceitos para outras áreas ocorra de maneira eficiente. Além disso, se a empresa possui alto um nível de desempenho em *Lean Manufacturing*, é de se esperar que ela busque aplicar tais conceitos no desenvolvimento de produto, a qual é uma área que antecede a produção. Com isso, a empresa poderá melhorar ainda mais o desempenho da produção caso possua, também, os conceitos e ferramentas enxutas implantadas no PDP.

Uma amostra de tamanho representativo será utilizada para avaliar as unidades de análise, de maneira que as conclusões obtidas possam ser generalizadas a todas as unidades do universo representado pela amostra. O número de empresas da amostra será definido baseando-se nas restrições de tempo e recursos financeiros para a realização da pesquisa de campo.

As empresas da amostra serão divididas pelos seguintes critérios:

- Porte: as empresas serão agrupadas de acordo com o número de funcionários, sendo: médio porte (de 50 a 500 funcionários) e grande porte (acima de 500 funcionários);
- Geografia: a amostra será dividida entre empresas que possuem unidades somente no seu país de origem (nacionais) e empresas que possuem unidades também em outros países (multinacionais);

As empresas que compõe a amostra foram selecionadas por meio de três fontes: Ranking anual das empresas mais inovadoras do país (anos de 2010, 2011 e 2012); Pesquisa das 50 empresas mais inovadoras do mundo, realizada pelo Boston Consulting Group (2012);

100 empresa mais inovadoras do mundo, segundo a revista Forbes (2012). Em relação às duas últimas fontes, somente as empresas que possuem planta no Brasil foram consideradas.

A seleção, de acordo com as três fontes utilizadas, resultou em uma população identificada de 73 empresas, para as quais o questionário foi submetido, sendo que 68,5% dessas empresas, ou seja, 50 empresas, retornaram o questionário completamente respondido. Dentre as 50 empresas respondentes, 3 foram eliminadas das análises por não apresentarem o *Lean Manufacturing* implantado há pelo menos 5 anos. Com isso, um total de 47 empresas, ou 64,4% da amostra, foi utilizado para o tratamento dos dados e análises estatísticas. Essas empresas estão caracterizadas em relação à nacionalidade, porte e mercado de atuação de acordo com o Apêndice C.

Hair et al. (2005) propõem que as técnicas multivariadas sejam realizadas com amostras superiores a 50 observações, o que inviabilizaria essa pesquisa, uma vez que temos uma amostra de 47 empresas respondentes. Nos casos em que o tamanho amostral é inferior aos 50 casos mínimos necessários, os autores recomendam cautela quanto à interpretação dos resultados. Com isso, a quantidade dos casos é uma limitação da presente pesquisa. Porém, deve-se levar em consideração que a população é de 73 empresas, ou seja, temos que a amostra de 47 empresas respondentes corresponde a 64,4% da população, o que corresponde a uma elevada representatividade.

4.5 Técnicas para a Análise dos Dados

Um dos objetivos desta Tese é identificar a correlação entre as variáveis de pesquisa e, caso haja um relacionamento entre as variáveis (significância estatística), é possível determinar se a direção dessa associação é positiva ou negativa e, principalmente, a força dessa associação, por meio de um coeficiente de correlação. O coeficiente de correlação irá indicar se a associação é leve, pequena, moderada, alta ou muito forte.

Os objetivos da pesquisa indicam a utilização de três tipos de análises: a análise univariada, a análise bivariada e a análise multivariada.

A análise univariada possui como propósito entender a distribuição de frequência de cada variável conforme sua tendência central e de dispersão (número de ocorrência de determinados valores para cada variável). Na análise univariada, investiga-se isoladamente a relação entre cada variável explicativa e a variável resposta, sem levar em conta as demais.

A análise bivariada correlaciona as variáveis a fim de identificar o número de variáveis que estão correlacionadas umas com as outras. Por fim, a análise multivariada

estuda as inter-relações existentes entre as variáveis, tendo em vista a redução ou sumarização dos dados, a fim de explicar a relação existente entre elas, ou seja, permite entender como as variáveis se inter-relacionam.

4.5.1 Análise Univariada – Descritiva

A análise univariada é utilizada quando se deseja estudar a distribuição de apenas uma variável. Para identificar a distribuição de cada variável, devem ser verificadas as tendências de medidas centrais e de dispersão.

Para a medida central, deve ser utilizada a média aritmética entre os valores de cada variável (HAIR JR et al., 2005). Levin (1987) atribui a média como sendo o valor de qualquer distribuição em torno do qual se equilibram as discrepâncias positivas e negativas. No entanto, em complemento à média tem-se a mediana, a fim de evitar a distorção dos resultados, caso os valores coletados possuam valores extremos (muito altos ou muito baixos). A mediana representa o valor que está no centro da distribuição. Em adição às medidas centrais, são apresentados os valores de mínimo (menor valor na distribuição de frequência) e os valores de máximo (maior valor na distribuição de frequência).

De acordo com Lapponi (2005) deve ser calculado o desvio padrão para os valores coletados pois, quanto mais as variáveis se afastarem da média, maior é o desvio padrão e menos homogênea é a amostra. Os valores coletados para cada variável mudam a partir da média e, para entender como isso ocorre, são utilizadas as medidas de dispersão. A fim de complementar a análise, é calculado o coeficiente de variação, que permite comparar as distribuições por se tratar do desvio padrão por unidade de média. O coeficiente de variação permite, ainda, expressar a variabilidade dos dados, pois é expresso em valores percentuais. Valores acima de 20% representam a não homogeneidade entre as respostas da amostra e valores abaixo de 20% representam a homogeneidade entre as respostas da amostra.

4.5.2 Análises Multivariadas

4.5.2.1 Análise Fatorial

Esta técnica permite analisar todas as variáveis conjuntamente e estabelecer fatores ou constructos não observáveis e independentes que correlacionam as variáveis originais (HAIR

et al. 2005). Essa análise é considerada uma técnica estatística exploratória, com o objetivo de reduzir um conjunto de variáveis em um conjunto de fatores ou constructos não observáveis.

No modelo de análise fatorial, cada uma das variáveis pode ser definida como uma combinação linear dos fatores comuns que explicam suas variâncias. Algumas premissas estatísticas são utilizadas para a aplicação da análise fatorial: A primeira premissa é uma análise sobre a matriz de correlação das variáveis originais do estudo, a qual deve apresentar mais da metade das variáveis com valores de correlação acima de 0,3 (HAIR et al. 2005). A segunda premissa para aplicação da análise fatorial consiste na análise da significância geral da correlação com o teste de esfericidade de Bartlett. Este teste analisa a hipótese nula (H_0), ou seja, a hipótese de que a tabela de correlação entre as variáveis seja uma matriz identidade, o que significa que somente existe correlação entre uma variável e ela própria, sendo as demais correlações nulas. Se esta hipótese for aceita, os dados em questão não são aptos para aplicação de técnicas multivariadas como a análise fatorial. A última premissa que deve ser verificada é a consistência dos dados originais por meio do teste de *Kaiser-Meyer-Olkin Measure* (KMO), ou medida de adequação da amostra, o qual indica a proporção da variância dos dados, que pode ser considerada comum a todas as variáveis analisadas, ou seja, qual é o grau de correlação parcial entre as variáveis. Este valor é considerado como adequado acima de 0,5 e bastante satisfatório acima de 0,8. Quanto mais próximo de 1, mais a variável é prevista sem erro pelas outras.

Uma vez que a matriz de correlação é considerada analisada e validada, deve-se realizar a extração dos fatores, cujo objetivo é determinar um conjunto de fatores não-observáveis que formem uma combinação linear das variáveis originais observáveis. Assim, se as variáveis $X_1, X_2, X_3... X_n$ são altamente correlacionadas, elas serão combinadas formando um fator. A parcela da variância explicada pelos fatores evidenciados na análise fatorial é denominada de comunalidade, sendo que o índice atrelado a este parâmetro varia de 0 até 1. Quando mais próximo de 1, maior a explicabilidade da variável pelos fatores evidenciados, ou seja, a variável possui grande importância na composição do fator. Quanto mais próximo de zero, menos os fatores explicam a variância da variável, o que indica que a variável não é importante na composição do fator.

4.5.2.2 Análise de Cluster

A análise de *Cluster* pode ser considerada um método de redução de dados. O objetivo, na maioria dos estudos que utilizam esta técnica, é identificar um número pequeno

de agrupamentos, que possuam aspectos semelhantes entre si, dentre um todo. O propósito da análise de *Cluster* é buscar uma classificação de acordo com as relações naturais que a amostra apresenta, formando grupos de objetos (indivíduos, empresas, cidades ou outra unidade experimental) por similaridade. Os objetos são agrupados de acordo com a semelhança em relação a algum critério pré-determinado. Segundo Hair et al (2005) os agrupamentos (ou *clusters*) resultantes devem possuir uma elevada homogeneidade interna (dentro dos grupos) e uma elevada heterogeneidade externa (entre os grupos).

A análise de agrupamentos possui algumas suposições com respeito a amostra. Segundo Hair Jr et al. (2005) raramente o pesquisador tem toda a população para realizar seu estudo. Geralmente uma amostra de dados é obtida e os agrupamentos são formados. Uma importante suposição é a representatividade da amostra. Observações atípicas devem ser analisadas previamente para não introduzir um viés na estimativa da estrutura de agrupamento dos dados. Portanto, conforme concluem os autores, todos os esforços devem ser feitos para garantir a representatividade da amostra e, ainda, que os resultados possam ser generalizáveis para a população de interesse.

Quando ocorre a formação de um *cluster*, existe uma proximidade que é indicada por algum tipo de distância. Por outro lado, as variáveis são agrupadas baseadas no seu coeficiente de correlação ou outras medidas estatísticas de associação. O coeficiente de correlação é uma medida de similaridade, enquanto que a distância euclidiana é uma medida de dissimilaridade. Quanto maior for a medida de similaridade maior é a semelhança entre os indivíduos.

Existem diversos métodos de agrupamento que podem resultar em diferentes padrões de agrupamento (BARROSO e ARTES, 2003). O pesquisador deve decidir qual o método mais adequado ao seu trabalho. Os métodos mais utilizados são:

- Método hierárquico: os indivíduos são alocados nos grupos em diferentes etapas, de maneira hierárquica. O resultado final é uma árvore de classificação.
- Método não hierárquico: não envolvem a construção de uma estrutura do tipo árvore, como ocorre nos hierárquicos. Os indivíduos são designados aos grupos num processo em que o número de agrupamentos deve ser previamente definido.

Para agrupar indivíduos, é necessária a definição de uma medida de similaridade ou dissimilaridade. Com base nessa medida os indivíduos similares são agrupados e os demais

são colocados em grupos separados. Segundo Barroso & Artes (2003), há dois tipos de medidas de parença: medidas de similaridade (quanto maior o valor, maior a semelhança entre os objetos); e medidas de dissimilaridade (quanto maior o valor, menor a semelhança entre os objetos).

Ao interpretar os agrupamentos, Hair Jr et al. (2005) recomendam que cada agrupamento seja analisado em termos de variável estatística de agrupamento, a fim de nomear ou indicar um rótulo que descreva a natureza das observações. Segundo os autores, a identificação do perfil e a interpretação dos agrupamentos permitem conhecer não só as características dos mesmos, mas também fornece uma maneira de avaliar a correspondência dos agrupamentos obtidos com aqueles encontrados na teoria.

A análise utilizada nesta Tese é a análise de *Cluster* hierárquica, pois o objetivo é agrupar as empresas que apresentam maior similaridade na utilização do *Lean Development*.

5. RESULTADOS

5.1 Análise Descritiva das Empresas Pesquisadas

Esta seção apresenta a caracterização descritiva das 47 empresas pesquisadas.

Para a classificação do porte das empresas pesquisadas foi considerada a classificação proposta pelo IBGE, a qual leva em consideração o número de funcionários da empresa. Para esta instituição, as empresas industriais com mais de 500 funcionários são classificadas como empresas de grande porte, as que possuem de 100 a 499 funcionários são classificadas como de médio porte, as que possuem de 20 a 99 funcionários são classificadas como de pequeno porte e as que possuem menos de 19 funcionários são classificadas como microempresas. O gráfico 5.1 mostra que 87% da amostra é constituída por empresas de grande porte sendo todo o restante da amostra constituído por empresas de médio porte.

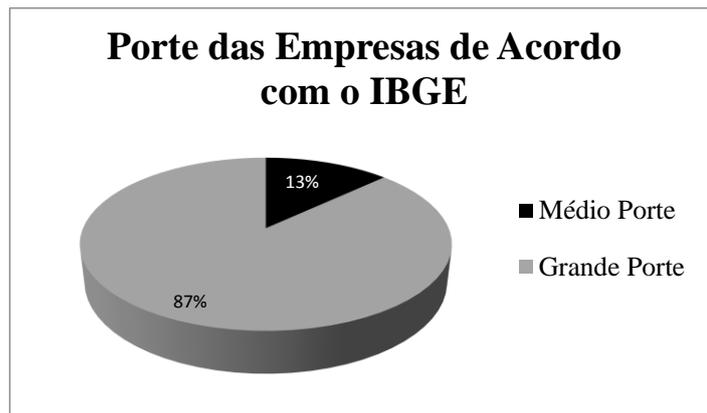


GRÁFICO 5.1– Classificação do porte das empresas pesquisadas, de acordo com o IBGE

Em relação à nacionalidade das empresas pesquisadas, o gráfico 5.2 apresenta a distribuição das empresas de acordo com seu continente de origem. A maior parte das empresas é de origem europeia. Em seguida aparecem as empresas com nacionalidade da América do Norte, América do Sul e Ásia.

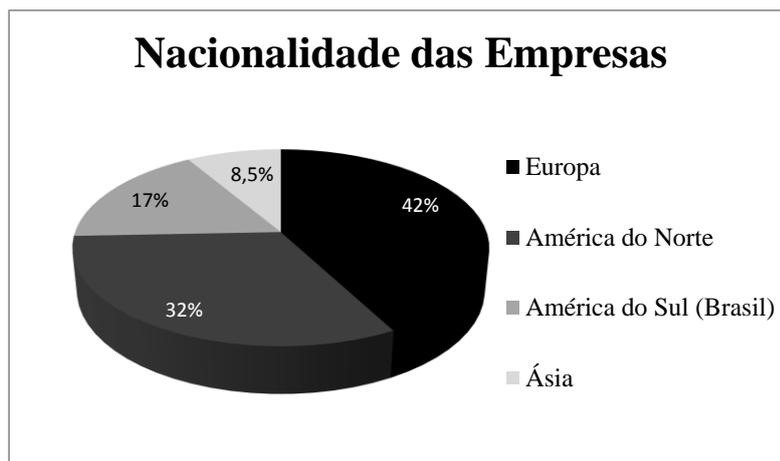


GRÁFICO 5.2 – Distribuição das empresas pesquisadas de acordo com a nacionalidade

A área de atuação dos profissionais entrevistados foi a área de desenvolvimento de produto, uma vez que a proposta desta Tese está pautada na implantação dos conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto. Uma vez que o estudo de fatores contextuais da organização exige que o entrevistado possua uma visão mais aprofundada tanto do microprocesso de atuação quanto do macroprocesso no qual se insere e, também, da organização como um todo, os questionários foram enviados aos cuidados do responsável pelo PDP. O gráfico 5.3 mostra a distribuição de cargos dos profissionais que responderam o questionário.

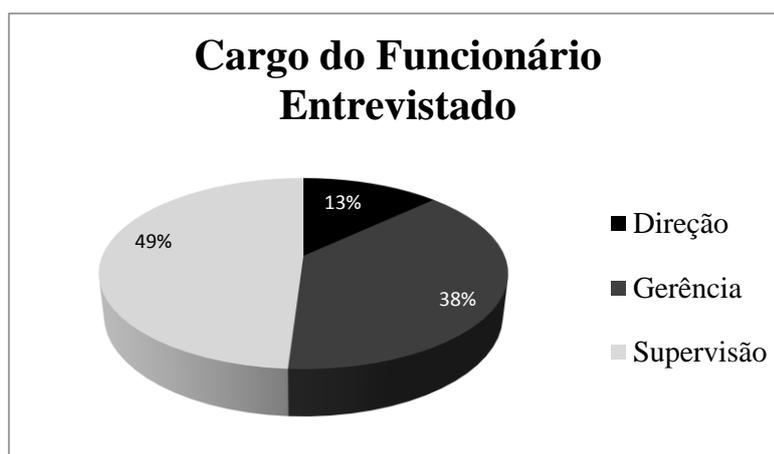


GRÁFICO 5.3 – Área de atuação dos funcionários entrevistados

Uma vez que a aplicação dos conceitos enxutos no PDP está diretamente ligada à aplicação desses conceitos no processo de manufatura, as empresas que aplicam os conceitos enxutos na manufatura há menos de 5 anos foram descartadas, sendo que a amostra analisada

ficou constituída apenas por empresas que aplicam os conceitos enxutos na manufatura há mais de 5 anos. Também, para que o entrevistado tivesse uma visão aprofundada e sistêmica do processo de desenvolvimento da empresa, foi considerada essencial a existência da área de desenvolvimento de produto na planta do entrevistado.

Em relação ao grau de importância que o PDP possui dentro da estratégia de competitividade da empresa, todos os respondentes consideram que as empresas possuem um alto grau de importância na estratégia de competitividade da empresa. É de se esperar que empresas que possuem esse alto grau tenham mais interesse estratégico em alocar recursos no PDP, buscando eficácia e eficiência desses investimentos, podendo, assim, estarem mais avançadas no nível de implantação dos conceitos enxutos do PDP.

Também é de se esperar que empresas que possuam uma maior abrangência do escopo do PDP tenham um maior interesse na alocação de recursos a esse processo. O gráfico 5.4 apresenta a abrangência do escopo do PDP das empresas avaliadas. Para a classificação da abrangência do escopo do PDP, foi utilizada a seguinte escala: Baixa: somente pequenas alterações/adequações em produtos existentes; Média: pequenas e grandes alterações/adequações em produtos existentes; Alta: pequenas e grandes alterações/adequações em produtos existentes, além do desenvolvimento de novos produtos e/ou tecnologias. Aproximadamente 80% das empresas pesquisadas possuem uma alta abrangência do escopo do PDP, o que faz sentido se comparado ao fato de que todas possuem a área de desenvolvimento de produto na planta entrevistada e, também, consideram que o PDP possui um alto grau de importância na estratégia de competitividade da empresa.

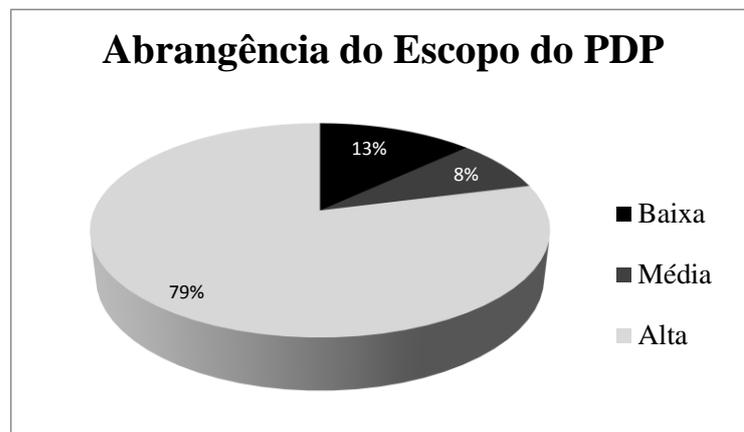


GRÁFICO 5.4 – Abrangência do escopo do PDP nas empresas avaliadas

Quanto ao mercado de atuação das empresas, o gráfico 5.5 apresenta a distribuição dos diferentes mercados de atuação das empresas avaliadas.

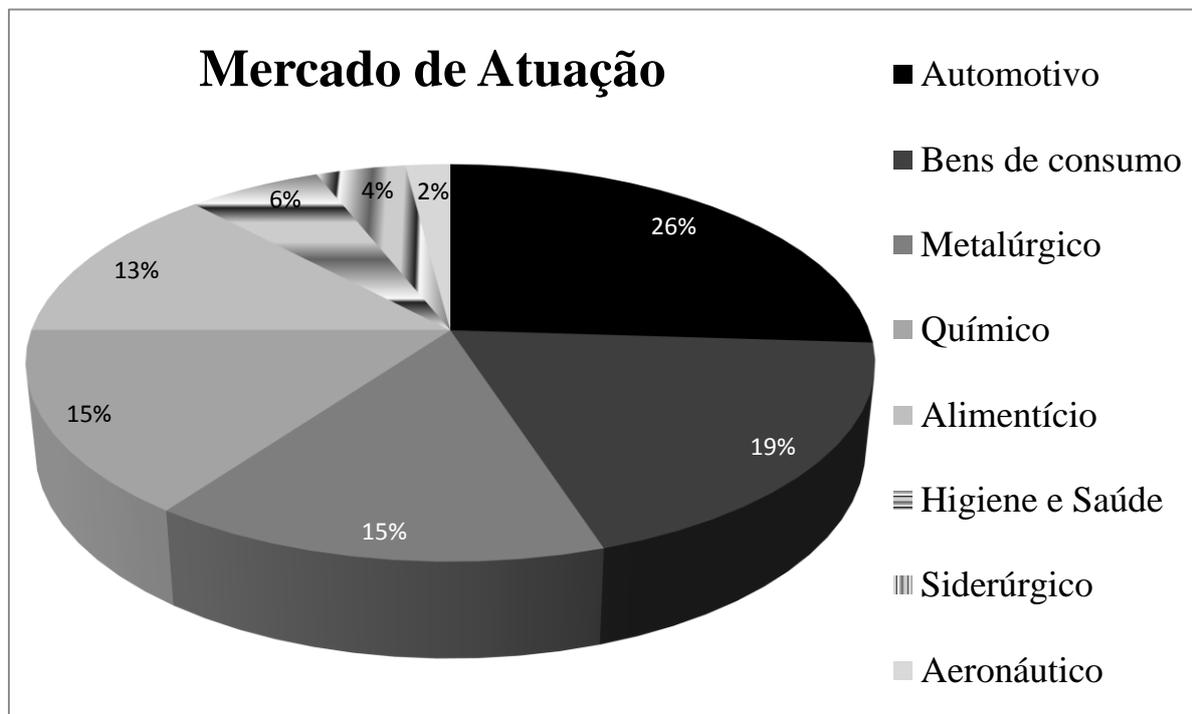


GRÁFICO 5.5 – Distribuição das empresas pesquisadas de acordo com o mercado de atuação

Em relação ao tipo de processo de manufatura utilizado pela empresa, não foram realizadas análises baseadas nesse fator, pois foram encontrados mais de dez diferentes tipos de processos entre as empresas da amostra, o que é um número grande comparado ao tamanho da amostra, que é de 47 empresas. Em cinco empresas, ou 10%, foram encontrados quatro diferentes processos; em nove empresas, ou 19%, foram encontrados três diferentes processos; em dezoito empresas, ou 38%, foram encontrados dois diferentes processos. Somente quinze empresas, ou 32%, apresentaram um único tipo de processo. Para evitar falhas/erros nas análises estatísticas dos resultados, foi decidido não utilizar esse fator nas mesmas. O gráfico 5.6 mostra a distribuição encontrada para os tipos de processo nas empresas pesquisadas.

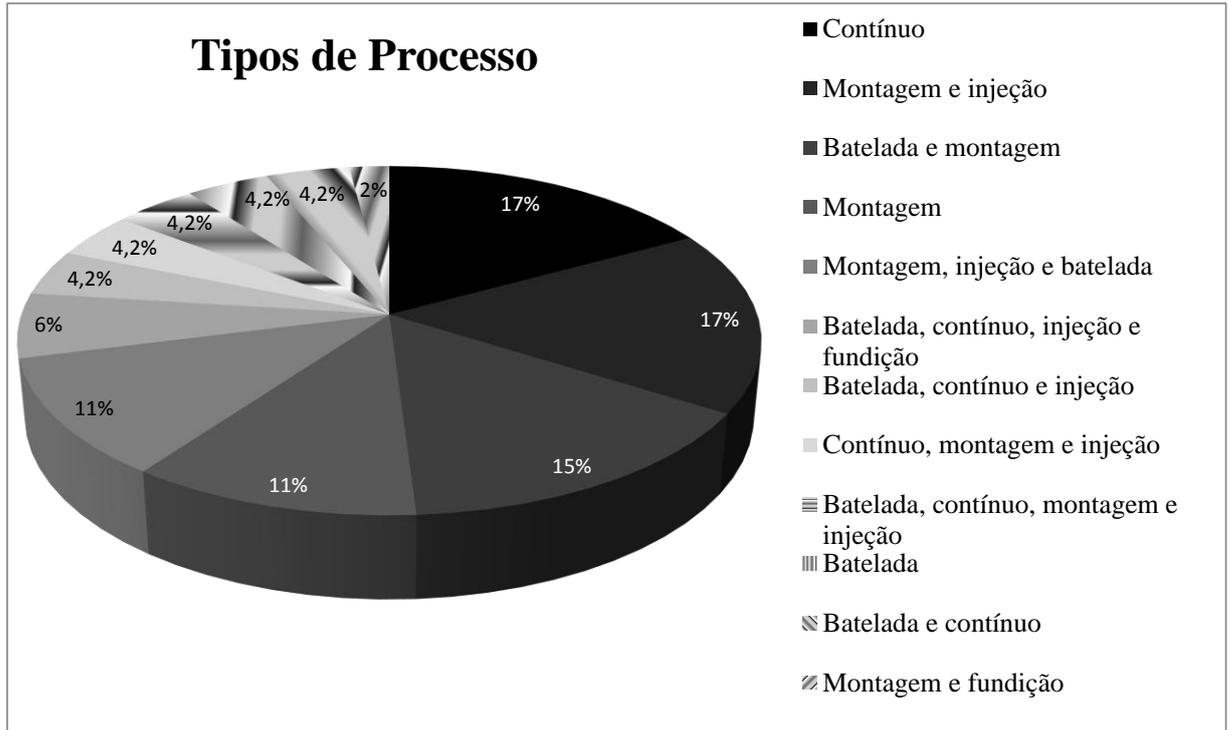


GRÁFICO 5.6 – Classificação dos diferentes tipos de processo das empresas avaliadas

5.2 Análise Descritiva dos Grupos do Questionário

A tabela 5.1 apresenta as informações referentes à frequência das notas atribuídas às variáveis de pesquisa (questões) para o grupo B do questionário (*Lean Manufacturing* na planta do entrevistado), bem como suas respectivas médias e desvios padrões.

A tabela 5.2 mostra as informações referentes à frequência das notas atribuídas às variáveis de pesquisa (questões) para o grupo C do questionário (*Lean Development* na planta do entrevistado), bem como suas respectivas médias e desvios padrões.

A tabela 5.3 apresenta as informações referentes à frequência das notas atribuídas às variáveis de pesquisa (questões) para o grupo D do questionário (Resultados do *Lean Development* na planta do entrevistado), bem como suas respectivas médias e desvios padrões.

De acordo com a tabela 5.1, temos que a média geral das variáveis do grupo B do questionário, para as empresas pesquisadas, é igual a 3,61. Com isso, pode-se concluir que o *Lean Manufacturing* é implantado “na maioria das vezes” nas empresas pesquisadas. O destaque positivo está na questão B3, referente à liderança da alta administração na implantação das ferramentas enxutas na manufatura, que é um dos princípios enxutos. A média para esta variável, nas empresas pesquisadas, é de 4,45. Os destaques negativos

aparecem nas questões B2, B5 e B6, com médias de 3,26, 3,04 e 3,40, respectivamente, referentes ao treinamento contínuo sobre conceitos e ferramentas *lean* (princípio enxuto), ao controle estatístico do processo e ao *layout* enxuto (ferramentas do *Lean Manufacturing*).

TABELA 5.1 – Análise descritiva do grupo B do questionário

Questão	1	2	3	4	5	Média	Desvio Padrão	
	Nunca	Na minoria das vezes	Algumas vezes	Na maioria das vezes	Sempre			
	Frequência de Respostas (%)							
Parte B: <i>Lean Manufacturing</i> na planta do entrevistado								
B2	Os funcionários da manufatura, na planta do entrevistado, recebem treinamento continuado sobre as práticas e ferramentas do Lean Manufacturing?	0,0%	8,5%	61,7%	25,5%	4,3%	3,26	0,67
B3	A alta administração está ativamente liderando a implantação das práticas enxutas?	0,0%	0,0%	10,6%	34,0%	55,3%	4,45	0,68
B4	O mapeamento do fluxo de valor (VSM) está completamente aplicado na manufatura, planta do entrevistado?	0,0%	2,1%	42,6%	40,4%	14,9%	3,68	0,75
B5	O processo está sob controle estatístico, com capacidade medida e variabilidade do processo em constante redução?	0,0%	23,4%	55,3%	14,9%	6,4%	3,04	0,80
B6	O layout da planta propicia o fluxo de material e a constante redução das distâncias de deslocamento?	0,0%	10,6%	46,8%	34,0%	8,5%	3,40	0,79
B7	Métodos de trabalho padrão estão em uso na planta, de acordo com o tempo de ciclo atual, distribuindo e balanceando a carga de trabalho?	0,0%	2,1%	25,5%	61,7%	10,6%	3,81	0,64
Média Geral		0,0%	7,8%	40,4%	35,1%	16,7%	3,61	0,72

A tabela 5.2 mostra que, para as empresas pesquisadas, a média geral das variáveis do grupo C é igual a 3,13, o que indica que o *Lean Development* é aplicado “algumas vezes” nas empresas pesquisadas. Nenhuma questão apresentou média igual ou superior a 4. Destaque muito negativo é evidenciado para as questões C4, C5, C6, C7 e C8, com médias de 2,77, 2,28, 2,23, 2,34 e 1,98, respectivamente, todas referentes às ferramentas enxutas de desenvolvimento de produto (mapeamento de fluxo de valor e engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis soluções).

A tabela 5.3 evidencia que a média geral das variáveis do grupo D do questionário, para as empresas pesquisadas, é igual a 3,05, ou seja, as empresas pesquisadas estão obtendo um resultado “moderado” na área de desenvolvimento de produto. Nenhuma questão apresentou média igual ou superior a 4. Destaque bastante negativo aparece nas questões D1, D2 e D5, com médias, respectivamente, de 2,70, 2,95 e 2,60. As questões D1 e D2 são referentes à redução de desperdício no PDP e a questão D5 é referente ao aumento de valor agregado no PDP (margem de lucro).

TABELA 5.2 – Análise descritiva do grupo C do questionário

Questão	1	2	3	4	5	Média	Desvio Padrão	
	Nunca	Na minoria das vezes	Algumas vezes	Na maioria das vezes	Sempre			
Frequência de Respostas (%)								
Parte C: <i>Lean Development</i> na planta do entrevistado								
C4	A empresa (planta) aplica o mapeamento do fluxo de valor (VSM) no processo de desenvolvimento de produto?	17,0%	10,6%	53,2%	17,0%	2,1%	2,77	0,99
C5	São aplicadas ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados no mapeamento do fluxo de valor do PDP?	19,1%	44,7%	27,7%	6,4%	2,1%	2,28	0,92
C6	O mapeamento do fluxo de valor é feito após a aplicação das ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados inicialmente?	19,1%	44,7%	29,8%	6,4%	0,0%	2,23	0,83
C7	A empresa (planta) começa a desenvolver todas as alternativas de solução de projeto, identificadas no início do projeto, e vai eliminando as soluções conforme as mesmas apresentam falhas, até chegar a uma única solução final?	2,1%	76,6%	12,8%	2,1%	6,4%	2,34	0,83
C8	A empresa não define as especificações do produto antes de iniciar o desenvolvimento do mesmo mas, sim, somente conforme o projeto avança e poucas soluções ainda estão sendo desenvolvidas, de maneira que a capacidade dessas soluções em atingir os requisitos definem as especificações do produto.	29,8%	55,3%	4,3%	8,5%	2,1%	1,98	0,93
C9	A empresa (planta) elege um engenheiro chefe/líder para cada projeto de um novo produto, com elevada experiência técnica e gerencial, e com pelo menos 5 anos de atuação na área de projeto?	2,1%	4,3%	25,5%	55,3%	12,8%	3,72	0,82
C10	A empresa (planta) desenvolve as capacidades técnicas de cada engenheiro de desenvolvimento de produto, favorecendo o aperfeiçoamento e o aprofundamento do conhecimento técnico nas suas áreas de atuação?	0,0%	6,4%	44,7%	40,4%	8,5%	3,51	0,74
C11	As principais metas, prazos, pontos críticos e andamento do projeto são disponibilizados de maneira clara e visual para todas as áreas envolvidas no projeto?	14,9%	0,0%	12,8%	46,8%	25,5%	3,68	1,27
C12	Os dados disponibilizados de maneira clara e visual para a equipe de projeto, descritos na questão anterior, são constantemente atualizados?	17,0%	2,1%	25,5%	36,2%	19,1%	3,38	1,30
C13	A alta administração da planta é envolvida em todas as etapas do processo de desenvolvimento de produto?	2,1%	10,6%	6,4%	61,7%	19,1%	3,85	0,92
C14	As pessoas que adquirem conhecimento técnico específico ao desenvolver um projeto são alocadas no desenvolvimento de novos projetos que utilizarão o mesmo conhecimento?	2,1%	4,3%	25,5%	44,7%	23,4%	3,83	0,91
C15	A integração entre as áreas de manufatura e desenvolvimento de produto é alta?	0,0%	0,0%	10,6%	83,0%	6,4%	3,96	0,41
Média Geral		10,5%	21,6%	23,2%	34,0%	10,6%	3,13	0,91

TABELA 5.3 – Análise descritiva do grupo D do questionário

Questão	1	2	3	4	5	Não aplica o LD	Média	Desvio Padrão	
	Nenhum	Pequeno	Moderado	Grande	Muito grande				
	Frequência de Respostas (%)								
Parte D: Resultados do <i>Lean Development</i> na planta do entrevistado									
D1	Houve redução do número de protótipos físicos necessários no desenvolvimento do projeto?	0,0%	31,9%	48,9%	2,1%	2,1%	14,9%	2,70	1,20
D2	Houve redução do número de alterações/revisões de desenhos e/ou formulações (ou seja, redução de retrabalhos) durante o desenvolvimento do projeto?	0,0%	19,1%	51,1%	14,9%	0,0%	14,9%	2,95	1,28
D3	Houve redução na necessidade de repetição de testes, decorrentes de alterações e/ou reprovas?	0,0%	6,4%	48,9%	27,7%	2,1%	14,9%	3,30	1,40
D4	Houve redução de horas (tempo) de desenvolvimento de projeto?	0,0%	4,3%	31,9%	42,6%	6,4%	14,9%	3,60	1,53
D5	Houve aumento na margem de lucro dos novos produtos?	0,0%	40,4%	40,4%	2,1%	2,1%	14,9%	2,60	1,18
D6	Houve melhoria na relação custo/benefício para os clientes/consumidores?	0,0%	10,6%	55,3%	17,0%	2,1%	14,9%	3,13	1,34
Média Geral		0,0%	18,8%	46,1%	17,7%	2,5%	14,9%	3,05	1,32

Também é observada uma diminuição das médias na seguinte sequência: grupo B (média 3,61) – grupo C (média 3,13) – grupo D (média 3,05). Isso indica que as empresas pesquisadas possuem um maior nível de implantação do *Lean Manufacturing* (grupo B) do que do *Lean Development* (grupo C), como era de se esperar e, ainda, uma média ainda mais baixa para os resultados obtidos no PDP (grupo D).

5.3 Análise Fatorial

A seguir são apresentados os resultados da análise fatorial realizada por meio do uso do *software XLSTAS 7.5.2*.

Nesta Tese, a análise fatorial foi realizada no modo R, o qual possui o objetivo de se checar a estrutura de relação entre as variáveis de estudo. Esta técnica permite analisar todas as 24 variáveis conjuntamente (6 variáveis do grupo B, 12 variáveis do grupo C e 6 variáveis do grupo D) e estabelecer fatores ou constructos não observáveis e independentes que correlacionam as variáveis originais. Dessa forma, as 24 variáveis foram incluídas em uma única matriz de correlação, com o objetivo de sintetizar essas variáveis em novas dimensões, denominadas de fatores, com perda mínima de informação, estabelecendo uma estrutura de correlação entre os fatores identificados e as variáveis. No modelo de análise fatorial, cada uma das variáveis pode ser definida como uma combinação linear dos fatores comuns que explicam suas variâncias. A parcela da variância explicada pelos fatores comuns evidenciados na análise fatorial é denominada como comunalidade, sendo que o índice atrelado a este

parâmetro varia de 0 até 1. Quando mais próximo a 1, maior a explicabilidade da variável pelos fatores evidenciados.

Existem algumas premissas estatísticas a serem seguidas para a aplicação da análise fatorial. A primeira premissa é a realização de uma análise sobre a matriz de correlação das variáveis originais do estudo, a fim de gerar uma matriz de dados de entrada, a qual deve apresentar mais da metade das variáveis com valores de correlação acima de 0,3 (HAIR et al. 2005). Os dados das correlações, estimadas por meio do coeficiente de Pearson, são demonstrados na tabela 5.4 e atendem a premissa em questão.

A segunda premissa para a aplicação da análise fatorial consiste na análise da significância geral da correlação com o teste de esfericidade de Bartlett. Este teste analisa a hipótese nula (H_0) da tabela de correlação ser uma matriz identidade. Se esta hipótese for aceita, os dados em questão não são aptos para aplicação de técnicas multivariadas como a análise fatorial.

Os resultados do teste de esfericidade de Bartlett estão apresentados na tabela 5.5.

Para que a hipótese nula (H_0) seja rejeitada, é necessário que o valor observado seja maior que o valor crítico e, ainda, que o p-valor seja menor que alpha. Nesse caso, como os dois critérios foram atingidos, temos que a hipótese nula (H_0) foi rejeitada, e, com isso, o teste indica que os resultados referentes às 24 variáveis analisadas são adequados para a aplicação da análise fatorial.

Outra premissa que deve ser verificada é a consistência dos dados originais por meio do teste de *Kaiser-Meyer-Olkin Measure* (KMO) que indica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis analisadas. De acordo com Hair et al. (2005), este valor é considerado como adequado acima de 0,5 e bastante satisfatório acima de 0,8. Acima de 0,8, temos um excelente nível de relacionamento entre as variáveis. No presente trabalho o KMO foi estimado em 0,801, atendendo, como as demais premissas, as condições necessárias para a aplicação da análise fatorial.

TABELA 5.4 – Valores dos coeficientes de Pearson entre as variáveis de estudo

	Questão 2B	Questão 3B	Questão 4B	Questão 5B	Questão 6B	Questão 7B	Questão 4C	Questão 5C	Questão 6C	Questão 7C	Questão 8C	Questão 9C	Questão 10C	Questão 11C	Questão 12C	Questão 13C	Questão 14C	Questão 15C	Questão 1D	Questão 2D	Questão 3D	Questão 4D	Questão 5D	Questão 6D
Questão 2B	1	0,594	0,548	0,459	0,450	0,513	0,315	0,372	0,430	0,188	0,248	0,207	0,296	0,321	0,280	0,304	0,212	0,273	0,295	0,315	0,419	0,316	0,358	0,230
Questão 3B	0,594	1	0,618	0,240	0,338	0,197	0,408	0,349	0,419	-0,006	0,015	0,376	0,308	0,362	0,313	0,413	0,297	0,374	0,271	0,295	0,454	0,364	0,298	0,352
Questão 4B	0,548	0,618	1	0,308	0,363	0,273	0,444	0,409	0,429	0,072	0,021	0,239	0,102	0,251	0,258	0,271	0,108	0,233	0,214	0,229	0,284	0,237	0,185	0,224
Questão 5B	0,459	0,240	0,308	1	0,513	0,599	0,227	0,363	0,338	0,331	0,344	-0,015	0,071	0,223	0,272	0,153	0,069	0,136	0,128	0,244	0,251	0,091	0,182	0,141
Questão 6B	0,450	0,338	0,363	0,513	1	0,700	0,446	0,640	0,602	0,665	0,589	0,404	0,375	0,530	0,534	0,492	0,453	0,250	0,510	0,613	0,566	0,446	0,533	0,459
Questão 7B	0,513	0,197	0,273	0,599	0,700	1	0,398	0,562	0,524	0,641	0,562	0,265	0,206	0,395	0,421	0,348	0,274	0,131	0,521	0,515	0,538	0,407	0,476	0,394
Questão 4C	0,315	0,408	0,444	0,227	0,446	0,398	1	0,819	0,814	0,328	0,384	0,575	0,481	0,748	0,746	0,751	0,546	0,393	0,669	0,671	0,715	0,667	0,643	0,701
Questão 5C	0,372	0,349	0,409	0,363	0,640	0,562	0,819	1	0,978	0,630	0,604	0,472	0,482	0,660	0,681	0,578	0,492	0,371	0,600	0,665	0,645	0,537	0,612	0,598
Questão 6C	0,430	0,419	0,429	0,338	0,602	0,524	0,814	0,978	1	0,531	0,555	0,471	0,532	0,694	0,707	0,629	0,505	0,341	0,584	0,670	0,664	0,559	0,615	0,625
Questão 7C	0,188	-0,006	0,072	0,331	0,665	0,641	0,328	0,630	0,531	1	0,831	0,138	0,167	0,323	0,372	0,149	0,246	0,167	0,458	0,507	0,410	0,285	0,521	0,354
Questão 8C	0,248	0,015	0,021	0,344	0,589	0,562	0,384	0,604	0,555	0,831	1	0,299	0,416	0,495	0,551	0,268	0,348	0,164	0,531	0,617	0,482	0,334	0,620	0,500
Questão 9C	0,207	0,376	0,239	-0,015	0,404	0,265	0,575	0,472	0,471	0,138	0,299	1	0,655	0,712	0,662	0,679	0,740	0,345	0,597	0,621	0,564	0,577	0,534	0,570
Questão 10C	0,296	0,308	0,102	0,071	0,375	0,206	0,481	0,482	0,532	0,167	0,416	0,655	1	0,692	0,661	0,641	0,700	0,352	0,455	0,473	0,494	0,370	0,541	0,483
Questão 11C	0,321	0,362	0,251	0,223	0,530	0,395	0,748	0,660	0,694	0,323	0,495	0,712	0,692	1	0,924	0,866	0,801	0,422	0,733	0,802	0,777	0,721	0,726	0,742
Questão 12C	0,280	0,313	0,258	0,272	0,534	0,421	0,746	0,681	0,707	0,372	0,551	0,662	0,661	0,924	1	0,813	0,743	0,390	0,663	0,762	0,741	0,638	0,697	0,705
Questão 13C	0,304	0,413	0,271	0,153	0,492	0,348	0,751	0,578	0,629	0,149	0,268	0,679	0,641	0,866	0,813	1	0,784	0,321	0,677	0,722	0,766	0,763	0,655	0,726
Questão 14C	0,212	0,297	0,108	0,069	0,453	0,274	0,546	0,492	0,505	0,246	0,348	0,740	0,700	0,801	0,743	0,784	1	0,438	0,632	0,627	0,597	0,548	0,565	0,564
Questão 15C	0,273	0,374	0,233	0,136	0,250	0,131	0,393	0,371	0,341	0,167	0,164	0,345	0,352	0,422	0,390	0,321	0,438	1	0,349	0,346	0,419	0,294	0,347	0,301
Questão 1D	0,295	0,271	0,214	0,128	0,510	0,521	0,669	0,600	0,584	0,458	0,531	0,597	0,455	0,733	0,663	0,677	0,632	0,349	1	0,877	0,899	0,869	0,901	0,865
Questão 2D	0,315	0,295	0,229	0,244	0,613	0,515	0,671	0,665	0,670	0,507	0,617	0,621	0,473	0,802	0,762	0,722	0,627	0,346	0,877	1	0,911	0,883	0,877	0,875
Questão 3D	0,419	0,454	0,284	0,251	0,566	0,538	0,715	0,645	0,664	0,410	0,482	0,564	0,494	0,777	0,741	0,766	0,597	0,419	0,899	0,911	1	0,931	0,903	0,898
Questão 4D	0,316	0,364	0,237	0,091	0,446	0,407	0,667	0,537	0,559	0,285	0,334	0,577	0,370	0,721	0,638	0,763	0,548	0,294	0,869	0,883	0,931	1	0,820	0,860
Questão 5D	0,358	0,298	0,185	0,182	0,533	0,476	0,643	0,612	0,615	0,521	0,620	0,534	0,541	0,726	0,697	0,655	0,565	0,347	0,901	0,877	0,903	0,820	1	0,889
Questão 6D	0,230	0,352	0,224	0,141	0,459	0,394	0,701	0,598	0,625	0,354	0,500	0,570	0,483	0,742	0,705	0,726	0,564	0,301	0,865	0,875	0,898	0,860	0,889	1

OBS: Valores em negrito indicam significância ($p = 0,05$, bicaudal)

TABELA 5.5 – Resultados do teste de esfericidade de Bartlett

Qui-quadrado (valor observado)	1332,316
Qui-quadrado (valor crítico)	315,749
P-valor	< 0,0001
Alpha	0,05

Uma vez que a matriz de correlação foi validada, realizou-se a extração dos fatores, determinando um conjunto de fatores não-observáveis que formam uma combinação linear das variáveis originais observáveis. Assim, as variáveis altamente correlacionadas foram combinadas formando um fator.

A tabela 5.6 ilustra os resultados das comunalidades obtidas antes e depois da aplicação da análise fatorial sobre as 24 questões (variáveis) que compõem o *survey* para identificação do processo *Lean* nas empresas. Observou-se que as comunalidades iniciais de todas as variáveis (questões) possuem o valor de 1 pelo fato da análise considerar que a solução fatorial possuirá o número máximo de fatores para a explicação total das variâncias. Depois de realizada a extração dos fatores, as comunalidades variam de 0 até o máximo de 1 (0 quando os fatores explicam nenhuma variância de uma variável específica e 1 quando os fatores explicam toda a variância dessa variável). Nos resultados aqui obtidos notou-se que todas as variáveis possuíram comunalidades finais superiores a 0,5, indicando que a variância de tais variáveis são explicadas em mais de 50% pelos fatores evidenciados, sendo consideradas como significantes para a constituição dos fatores.

A tabela 5.7 demonstra os resultados dos autovalores dos fatores e sua explicabilidade sobre as variâncias do conjunto das variáveis originais. De acordo com o critério da raiz latente, foi evidenciado que 4 fatores possuem um poder de explicação de 73,42 % sobre a variância das variáveis analisadas. O critério da raiz latente tem como base o fato de que qualquer fator deve explicar a variância de pelo menos uma variável, para que possa ser mantido no processo de interpretação fatorial (HAIR, et al., 2005). Assim, cada variável contribui com o valor 1 do autovalor total e somente os fatores superiores a 1 são considerados significantes.

TABELA 5.6 – Comunalidades das variáveis analisadas antes e depois da aplicação da análise fatorial

	Comunalidade Inicial	Comunalidade Final	Variância Específica
Questão 2B	0,775	0,561	0,439
Questão 3B	0,760	0,651	0,349
Questão 4B	0,652	0,594	0,406
Questão 5B	0,687	0,433	0,567
Questão 6B	0,773	0,665	0,335
Questão 7B	0,833	0,658	0,342
Questão 4C	0,893	0,685	0,315
Questão 5C	0,993	0,765	0,235
Questão 6C	0,991	0,751	0,249
Questão 7C	0,935	0,847	0,153
Questão 8C	0,896	0,789	0,211
Questão 9C	0,839	0,636	0,364
Questão 10C	0,805	0,626	0,374
Questão 11C	0,928	0,897	0,103
Questão 12C	0,917	0,830	0,170
Questão 13C	0,918	0,820	0,180
Questão 14C	0,863	0,754	0,246
Questão 15C	0,540	0,236	0,764
Questão 1D	0,939	0,884	0,116
Questão 2D	0,943	0,911	0,089
Questão 3D	0,976	0,965	0,035
Questão 4D	0,960	0,932	0,068
Questão 5D	0,941	0,866	0,134
Questão 6D	0,915	0,865	0,135

TABELA 5.7 – Autovalores e variâncias explicadas pelos fatores extraídos da Análise Fatorial

	F1	F2	F3	F4
Autovalor	12,551	2,221	1,740	1,109
% Total variância	52,298	9,253	7,250	4,620
% Acumulada	52,298	61,550	68,800	73,421

A última etapa da análise fatorial consiste na interpretação dos fatores considerados significantes na etapa anterior. Para isso, a matriz fatorial deve ser rotacionada a fim de facilitar a interpretação das variáveis.

A tabela 5.8 sumariza a relação dos 4 fatores evidenciados com as variáveis de estudo e seus poderes explicatórios sobre as mesmas. Estes resultados foram obtidos pela metodologia de rotação ortogonal (Varimax), que tem como objetivo fornecer uma separação mais clara da explicabilidade de cada fator por atribuir uma carga fatorial mais elevada ao fator mais representativo e minimizar as cargas dos demais fatores. Esta correlação entre variável e fator é denominada carga fatorial e, de acordo com Hair et al. (2005), esta carga deve ser superior a 0,5 para ser considerada importante na composição de um determinado fator. Desta maneira, os fatores são formados pelas variáveis com maiores cargas fatoriais, isto é, mais fortemente relacionadas com o fator. Na apresentação destes resultados optou-se por destacar as cargas mais elevadas para cada variável na cor cinza, a fim de facilitar a visualização.

TABELA 5.8 – Matriz de componentes rotacionada (Varimax)

Variáveis	Fatores			
	F1	F2	F3	F4
Questão 2B	0,107	0,267	0,679	0,128
Questão 3B	0,263	-0,058	0,740	0,175
Questão 4B	0,109	0,086	0,754	0,075
Questão 5B	-0,016	0,508	0,417	-0,016
Questão 6B	0,286	0,648	0,329	0,235
Questão 7B	0,069	0,695	0,314	0,269
Questão 4C	0,565	0,250	0,342	0,431
Questão 5C	0,490	0,587	0,325	0,275
Questão 6C	0,521	0,507	0,374	0,288
Questão 7C	0,068	0,892	-0,068	0,207
Questão 8C	0,265	0,800	-0,119	0,252
Questão 9C	0,708	0,032	0,129	0,342
Questão 10C	0,760	0,141	0,075	0,153
Questão 11C	0,783	0,236	0,157	0,452
Questão 12C	0,750	0,318	0,138	0,384
Questão 13C	0,721	0,056	0,236	0,491
Questão 14C	0,806	0,115	0,036	0,302
Questão 15C	0,374	0,075	0,251	0,166
Questão 1D	0,380	0,297	0,083	0,803
Questão 2D	0,432	0,384	0,109	0,751
Questão 3D	0,386	0,268	0,276	0,817
Questão 4D	0,329	0,098	0,194	0,882
Questão 5D	0,380	0,367	0,084	0,761
Questão 6D	0,413	0,212	0,113	0,798

Após a identificação dos 4 fatores, é necessário analisar a composição de cada um a fim de nomeá-los.

O primeiro fator identificado apresenta variáveis referentes somente ao grupo C do questionário, quatro delas relacionadas às ferramentas e quatro delas relacionadas aos princípios do Lean Development. Das variáveis relacionadas às ferramentas do Lean Development, duas são relacionadas ao mapeamento do fluxo de valor e duas à gestão visual. Das variáveis relacionadas aos princípios do Lean Development, duas são relacionadas à liderança e duas ao desenvolvimento técnico dos engenheiros de produto.

O segundo fator é composto tanto por variáveis do grupo B quanto por variáveis do grupo C do questionário. Três variáveis são relacionadas às ferramentas do *Lean Manufacturing* (controle estatístico de processo, *layout* e trabalho padrão) e três variáveis são relacionadas às ferramentas do *Lean Development*, uma referindo-se ao mapeamento do fluxo de valor e duas à engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis soluções.

O terceiro fator apresenta somente três variáveis do grupo B do questionário, duas delas relacionadas aos princípios *lean* (treinamento dos funcionários e participação da liderança na implantação das ferramentas enxutas) e uma relacionada às ferramentas do *Lean Manufacturing* (mapeamento do fluxo de valor).

O quarto fator identificado é formado por todas as seis variáveis do grupo D do questionário, relacionadas à redução de desperdícios e aumento do valor agregado na área de desenvolvimento de produto.

O quadro 5.1 apresenta as variáveis de pesquisa relacionadas com cada um dos quatro fatores obtidos pela análise fatorial. Posteriormente, nas análises dos resultados, serão apresentadas as relações existentes entre os quatro fatores obtidos com os princípios e ferramentas do *Lean Development*.

QUADRO 5.1 – Fatores obtidos pela análise fatorial e suas respectivas variáveis

Fatores	Variáveis (questões)
F1 - <i>Lean Development</i> - princípios, gestão visual e mapeamento do fluxo de valor	4C. A empresa (planta) aplica o mapeamento do fluxo de valor (VSM) no processo de desenvolvimento de produto
	6C. O mapeamento do fluxo de valor é feito após a aplicação das ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados inicialmente
	9C. A empresa (planta) elege um engenheiro chefe/líder para cada projeto de um novo produto, com elevada experiência técnica e gerencial, e com pelo menos 5 anos de atuação na área de projeto
	10C. A empresa (planta) desenvolve as capacidades técnicas de cada engenheiro de desenvolvimento de produto, favorecendo o aperfeiçoamento e o aprofundamento do conhecimento técnico nas suas áreas de atuação
	11C. As principais metas, prazos, pontos críticos e andamento do projeto são disponibilizados de maneira clara e visual para todas as áreas envolvidas no projeto
	12C. Os dados disponibilizados de maneira clara e visual para a equipe de projeto, descritos na questão anterior, são constantemente atualizados
	13C. A alta administração da planta é envolvida em todas as etapas do processo de desenvolvimento de produto
	14C. As pessoas que adquirem conhecimento técnico específico ao desenvolver um projeto são alocadas no desenvolvimento de novos projetos que utilizarão o mesmo conhecimento
F2 - Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> e ESBC	5B. O processo está sob controle estatístico, com capacidade medida e variabilidade do processo em constante redução
	6B. O <i>layout</i> da planta propicia o fluxo de material e a constante redução das distâncias de deslocamento
	7B. Métodos de trabalho padrão estão em uso na planta, de acordo com o tempo de ciclo atual, distribuindo e balanceando a carga de trabalho
	5C. São aplicadas ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados no mapeamento do fluxo de valor do PDP
	7C. A empresa (planta) começa a desenvolver todas as alternativas de solução de projeto, identificadas no início do projeto, e vai eliminando as soluções conforme as mesmas apresentam falhas, até chegar a uma única solução final
	8C. A empresa não define as especificações do produto antes de iniciar o desenvolvimento do mesmo mas, sim, somente conforme o projeto avança e poucas soluções ainda estão sendo desenvolvidas, de maneira que a capacidade dessas soluções em atingir os requisitos definem as especificações do produto
F3 - <i>Lean Manufacturing</i> - princípios e mapeamento do fluxo de valor	2B. Os funcionários da manufatura, na planta do entrevistado, recebem treinamento continuado sobre as práticas e ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i>
	3B. A alta administração está ativamente liderando a implantação das práticas enxutas
	4B. O mapeamento do fluxo de valor (VSM) está completamente aplicado na manufatura, planta do entrevistado
F4 - Resultados da área de desenvolvimento de produto	1D. Houve redução do número de protótipos físicos necessários no desenvolvimento do projeto
	2D. Houve redução do número de alterações/revisões de desenhos e/ou formulações (ou seja, redução de retrabalhos) durante o desenvolvimento do projeto
	3D. Houve redução na necessidade de repetição de testes, decorrentes de alterações e/ou reprovos
	4D. Houve redução de horas (tempo) de desenvolvimento de projeto
	5D. Houve aumento na margem de lucro dos novos produtos
	6D. Houve melhoria na relação custo/benefício para os clientes/consumidores

5.4 Análise de *Cluster* a Partir da Análise Fatorial

Após a aplicação da análise fatorial para a extração dos fatores não observáveis nos dados originais, procedeu-se com uma análise do tipo *cluster* a fim de identificar possíveis padrões entre as empresas analisadas. Para a utilização de técnicas posteriores a partir dos dados fatoriais, é necessário determinar os escores fatoriais para cada caso estudado. Conceitualmente, o escore fatorial representa o grau com que um indivíduo possui escore elevado no grupo de variáveis que possui carga fatorial elevada em um determinado fator. Nesse caso, os escores fatoriais representam, em valores normalizados, com qual intensidade cada uma das empresas desenvolve os fatores evidenciados. Com isso, foram utilizados os escores dos fatores extraídos pela análise fatorial quanto às respostas das 24 questões (variáveis) aplicadas no questionário (tabela 5.8). A análise de *cluster*, a partir da análise fatorial, tem por objetivo desenvolver uma tipologia, baseada em dados empíricos, identificando similaridade entre os casos em relação às variáveis identificadas teoricamente, a fim de simplificar a análise dos casos por meio de agrupamento. A tipologia analisada neste trabalho consiste na classificação de agrupamento de empresas, levando-se em consideração o desenvolvimento do *Lean Development* nas empresas pesquisadas, utilizando, para isso, a estrutura de fatores estabelecida pela análise fatorial.

A aplicação do método de *cluster* baseou-se na possibilidade de identificar possíveis padrões entre as empresas analisadas em relação às respostas das questões aplicadas no questionário.

Para o agrupamento entre os objetos de estudo (empresas) foi empregado o modo Q de análise. A técnica de ordenação por *clusters* permite classificar amostras (empresas) por suas características em relação a um conjunto de variáveis e/ou fatores pelo uso de medidas de similaridade ou dissimilaridade, resultando em aglomerados que possuem alta similaridade interna e baixa semelhança externa (isto é, entre os grupos) (JOBSON, 1992; EVERITT et al. 2001). As especificidades da análise de *cluster* que são dispostas a seguir foram baseadas em Jobson (1992), Everitt et al. (2001) e Hair et al. (2006).

A medida de similaridade selecionada foi a distância Euclidiana, que é calculada a partir da hipotenusa de um triângulo retângulo formado pelos valores de duas ou mais variáveis dispostas em um plano ortogonal, sendo uma métrica comumente utilizada em estudos com múltiplas variáveis pelo fato de ser perfeitamente métrica.

Quanto ao método de agrupamento utilizado, selecionou-se o tipo aglomerativo hierárquico, onde são gerados dendogramas a partir do conjunto de variáveis analisado,

respeitando-se a hierarquia de similaridade entre os grupos resultantes. No primeiro estágio de aglomeração esse método considera 47 *clusters* (número total de empresas validadas). A cada estágio, o método considera um novo caso combinado ao *cluster* existente e dois casos são aglomerados em decorrência da proximidade entre estes (baixa distância euclidiana). A cada estágio, o valor da distância entre os *clusters* aumenta. É possível fazer uma analogia entre o processo de aglomeração com uma caminhada, na qual os casos mais próximos podem ser agrupados com passos curtos, enquanto os casos mais distantes exigem passos mais largos para serem alcançados. Com isso, deve-se considerar a quantidade ideal de *clusters* até o momento em que a variação do coeficiente de aglomeração não é tão elevada.

A associação entre os objetos e grupos de estudo foi estimada pelo método das médias ponderadas (*Weighed Clustering*), onde a similaridade entre os objetos é calculada pela soma das similaridades ponderadas, ou seja, atribui-se peso igual aos ramos dos dendogramas que se fundem por meio da multiplicação por dois coeficientes, sendo um para cada objeto (empresa), que são ponderados pela soma destes objetos. Este critério é notadamente reconhecido por produzir uma representação fidedigna dos objetos no espaço do *cluster*. O corte ou o truncamento entre os grupos foi definido com nível de significância de 0,05. Todas as etapas da análise de *cluster* foram realizadas com o uso do *software* XLSTATS versão 7.5.2.

A figura 5.1 apresenta o dendograma que demonstra que a aplicação da análise de agrupamento resultou na formação de 4 *clusters* e a tabela 5.9 ilustra o desenvolvimento destes *clusters* em relação aos escores dos fatores evidenciados.

Quando comparado com as demais, o *cluster* 1, o qual foi formado por 7 empresas, se caracterizou por possuir os menores valores relativos de todos os fatores, resultando no menor valor da somatória dos mesmos, em relação a todos os *clusters*. Tal fato indica que este conjunto de empresas possui baixo nível de implantação de todos os fatores extraídos, ou seja, é possível dizer que essas empresas não possuem nem o *Lean Manufacturing* nem o *Lean Development* consolidados. Em comparação aos demais *clusters*, o *cluster* 1 apresentou os menores valores para os fatores F1 e F4. Com isso, pode-se nomear o *cluster* 1 como “empresas tradicionais”.

O *cluster* 2 foi formado por 8 empresas e se caracterizou por possuir a maior somatória de escores de fatores, indicando possuir a mais elevada intensidade de desenvolvimento dos fatores, principalmente do fator F2. Entretanto, quando analisado cada fator separadamente, observou-se que o escore do fator F3 foi bastante baixo, indicando que este conjunto de

empresas possui o mais baixo nível de desenvolvimento deste fator frente às demais empresas analisadas no estudo. Podemos, então, nomear o *cluster 2* como “empresas lean”.

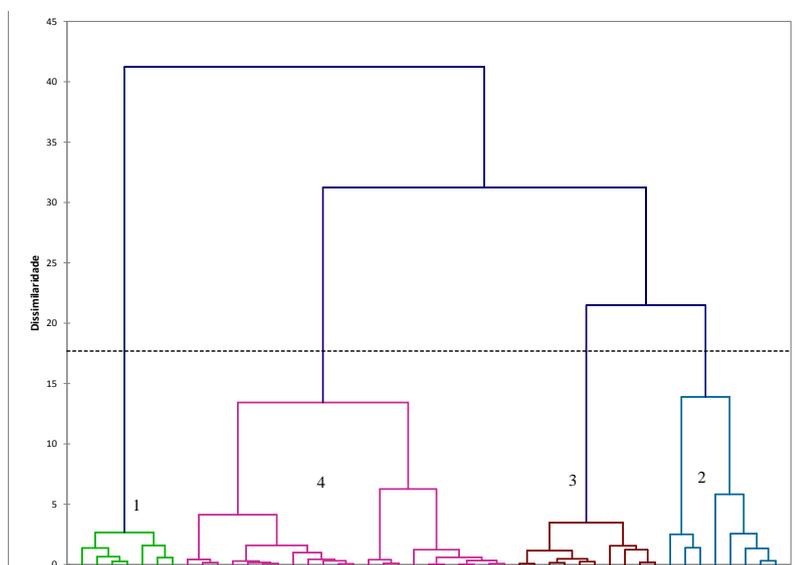


FIGURA 5.1 – Dendrograma estimado a partir da análise de *Cluster*

TABELA 5.9 – Resultados médios, por *cluster*, dos valores obtidos para cada fator

<i>Cluster</i>	F1	F2	F3	F4	Soma
1	-1,320	-0,239	-0,348	-1,759	-3,665
2	0,367	1,636	-0,555	0,158	1,607
3	1,166	-0,116	0,339	-0,414	0,975
4	-0,244	-0,466	0,158	0,691	0,139

OBS: escores mais elevados destacados em vermelho e scores menores destacados em azul

Os resultados da tabela 5.9 são demonstrados graficamente no gráfico 5.7.

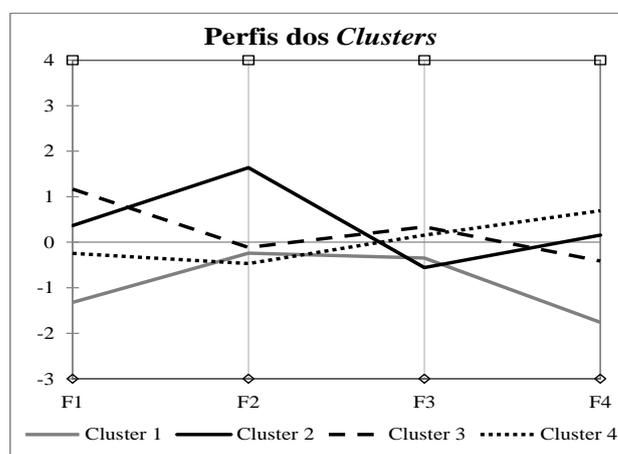


GRÁFICO 5.7 – Perfis dos *clusters* em relação aos resultados médios obtidos para cada fator

O *cluster* 3 foi formado por 10 empresas e pode ser caracterizado pela soma dos fatores como o segundo *cluster* que possuiu maior desenvolvimento dos fatores extraídos das variáveis originais, estando atrás somente do *cluster* 2. No *cluster* 3 os fatores F1 e F3 apresentaram os maiores escores entre todos os *clusters*. Com isso, o *cluster* 3 pode ser nomeado como “empresas em evolução para o *Lean Development*”.

O *cluster* 4 foi o mais numeroso, sendo formado por 22 das 47 empresas analisadas. Este agrupamento possui baixos escores dos fatores F1 e F2, sendo que, para o fator F2, o *cluster* 4 apresentou o menor valor de todos os agrupamentos formados. Por outro lado, o *cluster* 4 possuiu o escore mais acentuado para o fator F4 (resultados da área de desenvolvimento de produto). Isso permite nomear o *cluster* 4 como “empresas tradicionais com forte PDP”.

A variância intraclasse é uma medida de dispersão ou de homogeneidade dos objetos que compõem uma classe (*cluster*). Portanto, quanto menor a variância, mais similares são os objetos que pertencem a um mesmo *cluster*. De acordo com a tabela 5.10, os *clusters* que possuíram empresas mais similares quanto aos fatores analisados foram os *clusters* 3 e 1, respectivamente. O *cluster* 3, mesmo sendo o segundo *cluster* com maior número de empresas (10 empresas, ficando atrás somente do *cluster* 4, o qual é formado por 22 empresas), apresentou a maior similaridade das empresas que o constituem, em relação aos fatores analisados. O *cluster* 2 apresentou a maior variância intraclasse, o que permitiu afirmar que as empresas que compõem este agrupamento foram as menos similares entre si, quando comparada com aos demais *clusters*. No caso do *cluster* 4, mesmo possuindo o maior número de empresas (22), as mesmas foram mais similares em relação aos fatores analisados do que o *cluster* 2, o qual é formado por somente 8 empresas.

TABELA 5.10 – Variâncias dentro dos *clusters* em relação aos valores obtidos para os quatro fatores

	<i>Cluster</i>			
	1	2	3	4
Número de Empresas	7	8	10	22
Variância intra-classe	1,185	3,975	0,946	1,485
Distância mínima ao centróide	0,627	0,645	0,593	0,353
Distância média ao centróide	0,959	1,723	0,874	1,129
Distância máxima ao centróide	1,418	2,933	1,670	1,988

5.5 Análise Descritiva dos Clusters

A análise descritiva dos *clusters* permite uma melhor interpretação dos resultados. Os *clusters* foram analisados descritivamente em função das variáveis de controle nacionalidade e mercado de atuação.

Os gráficos 5.8 e 5.9 apresentam, respectivamente, a análise descritiva dos *clusters* formados em relação à nacionalidade e aos mercados de atuação.

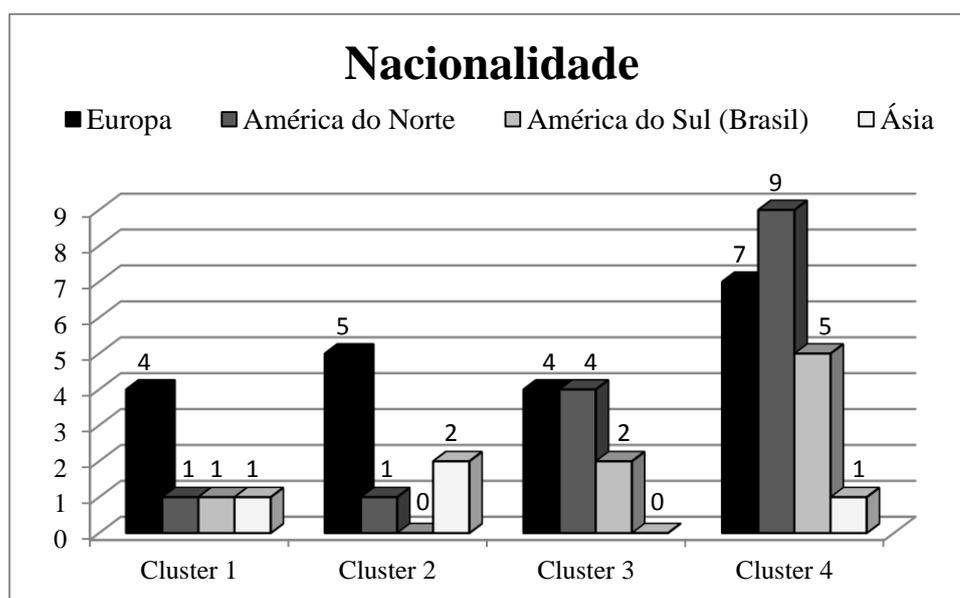


GRÁFICO 5.8 – Análise descritiva dos *clusters* em relação à nacionalidade

Das 7 empresas que constituem o *cluster* 1, 1 é brasileira, 5 são europeias e 1 é americana. Em relação aos mercados de atuação, 2 são metalúrgicas, 2 são automotivas, 1 é de bens de consumo, 1 é química e 1 alimentícia. Com isso, temos que o *cluster* “empresas tradicionais” é composto, em sua maioria, por empresas europeias e dos mercados metalúrgico e de higiene e saúde.

Em relação à nacionalidade, das 8 empresas que constituem o *cluster* 2, 5 são europeias, 2 são asiáticas e 1 é americana. Quanto ao mercado de atuação, 6 empresas são de bens de consumo, 1 é automotiva e 1 é alimentícia. Isso evidencia que o *cluster* “empresas lean” é formado majoritariamente por empresas europeias do mercado de bens de consumo.

Em relação ao *cluster* 3, quanto à nacionalidade, 4 empresas são europeias, 4 são americanas e 2 são brasileiras. Em relação ao mercado de atuação, 3 são automotivas, 3 são químicas, 1 é de bens de consumo, 1 é aeronáutica, 1 é alimentícia e 1 é de higiene e saúde. Isso caracteriza o *cluster* “empresas em evolução para o *Lean Development*” como sendo

composto por empresas europeias e americanas, na sua maioria, pertencentes aos mercados químico e de higiene e saúde.

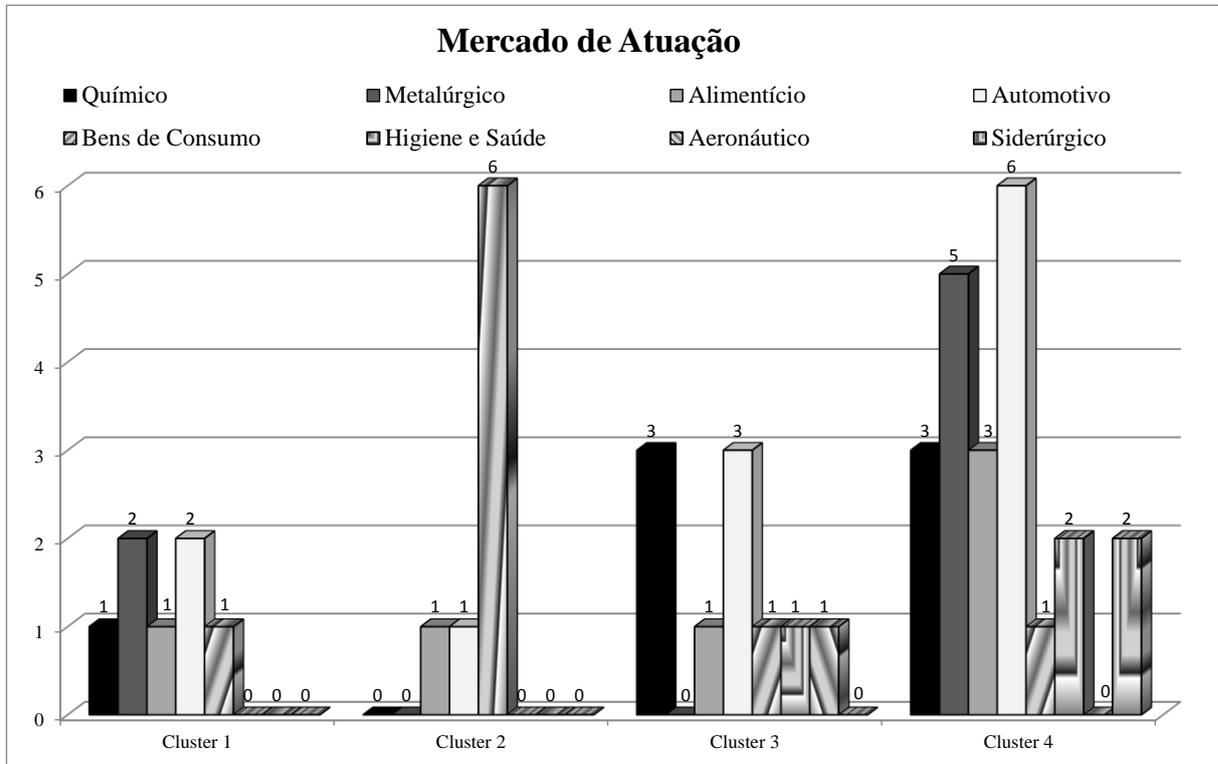


GRÁFICO 5.9 – Análise descritiva dos *clusters* em relação ao mercado de atuação

Das 22 empresas que constituem o *cluster 4*, 9 são americanas, 7 são europeias, 5 são brasileiras e 1 é asiática. Do ponto de vista de mercado de atuação, 6 são automotivas, 5 são metalúrgicas, 3 são químicas, 3 são alimentícias, 2 são siderúrgicas, 2 são de higiene e saúde, e 1 é de bens de consumo. Podemos, então, dizer que o *cluster* “empresas tradicionais com forte PDP” é composto, na sua maioria, por empresas americanas do mercado automotivo.

5.6 Análise Discriminate e MANOVA (Multiple Analysis of Variance)

A discriminação consiste em se procurar características capazes de serem utilizadas para alocar objetos em diferentes grupos previamente definidos. O problema consiste em se obter uma combinação linear de características observadas que apresente maior poder de discriminação entre populações. Esta combinação linear é denominada função discriminante. Tal função tem a propriedade de minimizar as probabilidades de má classificação.

A análise discriminante, bem como as outras técnicas multivariadas de ordenação, consiste de ferramentas para se alterar o número de dimensões em estudo. Ou seja, quando existem n variáveis, tem-se n dimensões e, conseqüentemente, n eixos gráficos. As análises multivariadas permitem que se trabalhe em menores dimensões. Os valores de F1 e F2 correspondem aos autovalores calculados a partir da matriz das variáveis coletadas. Quanto mais a soma de F1 e F2 se aproxima de 100, maior explicabilidade é fornecida pelos dois eixos (autovetores) gerados pelo F1 ou F2. Em outras palavras, a redução da dimensão é eficaz quando o valor está próximo de 100 e, com isso, permite-se trabalhar os dados multivariados em menores dimensões, ou seja, duas dimensões (F1 e F2), as quais são correspondentes aos eixos estimados.

A análise discriminante (AD) foi empregada para checar a validade dos agrupamentos formados pela análise de *cluster*. Essa metodologia é aplicada quando se conhece *a priori* a existência de grupos, permitindo testar se esses agrupamentos são significativos estatisticamente e quais variáveis definem os distintos agrupamentos (JOBSON, 1992; EVERITT et al. 2001; HAIR et al. 2006). Nesta técnica, calcula-se uma função discriminante que leva em consideração os valores atribuídos às variáveis analisadas, permitindo classificar os objetos (no caso, empresas) em grupos a partir dos fatores especificados.

A análise de variância múltipla (MANOVA) foi empregada para testar a significância estatística da diferença dos escores obtidos em cada um dos *clusters* evidenciados. Os testes aplicados foram: Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley, Maior Raiz de Roy e Lambda de Wilks (JOBSON, 1992; EVERITT et al. 2001; HAIR et al. 2006). Todos os testes foram realizados com significância de 0,05. Caso fosse evidenciada semelhança nos valores médios dos vetores entre dois ou mais agrupamentos ($p \geq 0,05$), estes seriam considerados similares e, portanto, pertencentes a um só agrupamento, refutando as classificações originadas *a priori* pela análise de *cluster*. Os resultados dos testes multivariados de igualdade das médias (MANOVA) entre os grupos de Lambda de Wilks aplicado entre os *clusters* estão apresentados na tabela 5.11.

TABELA 5.11 – Resultados dos testes multivariados de igualdade das médias (MANOVA) entre os grupos de Lambda de Wilks aplicado entre os *clusters*

Teste	Valor	F (observado)	F (crítico)	p-valor
Traço de Pillai	2,565	4,769	1,457	< 0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	49,6717	28,73000649	1,52953	< 0,0001
Maior raiz de Roy	34,865	92,973	2,070	< 0,0001
Lambda de Wilks	0,001	12,619	1,469	< 0,0001

Os resultados do teste multivariado de igualdade das médias (MANOVA) evidenciaram que os valores médios dos fatores registrados nos agrupamentos classificados na análise de *cluster* apresentaram significativas diferenças estatísticas ($p < 0,05$), indicando que estes são distintos entre si quanto aos fatores analisados e validando os resultados da análise de *cluster*.

Foi também estimada a precisão de classificação da análise de *cluster* pela estimativa da taxa de precisão, apresentada na matriz de confusão. Esta metodologia aponta a taxa de precisão (*hit ratio*) da análise de agrupamento e, segundo Hair et al. (2005), esta deve ficar acima de 25% da obra do acaso, ou seja, do *cluster* formado ser mera questão de probabilidade. Para se estimar a probabilidade do *cluster* ser meramente fruto de probabilidade, divide-se o número total de empresas do *cluster* mais numeroso pelo número total de empresas, calculando-se desta forma a porcentagem do acaso (HAIR et al. 2005).

A tabela 5.12 mostra a matriz de confusão, que apresenta que a taxa de precisão da análise de *cluster*, levando-se em consideração todas as classes, foi de 87,23%. A probabilidade do *cluster* ser fruto do acaso foi estimada pela divisão de 22 (*cluster* mais numeroso) por 47 (empresas avaliadas), ou seja, 46,80%. Este valor, quando somado aos 25% indicados por Hair et al. (2005), resultou em 71,80%, situando-se abaixo da taxa de precisão encontrada, que foi de 87,23%. Portanto, a taxa de precisão encontrada está acima da probabilidade do *cluster* ocorrer ao acaso, que é de 71,80%. Isso evidencia que a taxa de precisão da análise de *cluster* foi adequada.

A matriz de confusão também mostra que todas as empresas pertencentes ao *cluster* 1 foram avaliadas pela análise discriminante como pertencente à classe 1, ou seja, 100 % de precisão. No *cluster* 2, das 8 empresas iniciais classificadas pela análise de *cluster*, 5 foram avaliadas como pertencentes realmente a este *cluster* e 3 a outros *clusters*, ou seja, 62,50% de precisão. No *cluster* 3, das 10 empresas iniciais classificadas pela análise de *cluster*, 8 foram avaliadas como pertencentes realmente a esse *cluster* e 2 a outro *cluster*, ou seja, 80 % de precisão. No *cluster* 4, das 22 empresas iniciais classificadas pela análise de *cluster*, 21 foram avaliadas como pertencentes realmente a este *cluster* e 1 a outro *cluster*, ou seja, 95,45% de precisão.

A análise discriminante é apresentada no gráfico 5.10 e no gráfico 5.11. O gráfico 5.10 mostra os vetores obtidos das variáveis analisadas no presente estudo e o gráfico 5.11 apresenta os grupos formados pela análise discriminante. A direção e sentido dos vetores, no gráfico 5.10, indicam as regiões onde os quatro fatores encontrados na análise fatorial

possuem os maiores valores. Dessa maneira, a posição horizontal no gráfico *biplot* (gráfico 5.11) caracteriza melhor os agrupamentos quanto às suas especificidades em relação aos fatores analisados.

TABELA 5.12 - Matriz de confusão para os resultados da validação cruzada entre classes

de \ a	1	2	3	4	Total	% correto
1	7	0	0	0	7	100,00%
2	0	5	2	1	8	62,50%
3	0	0	8	2	10	80,00%
4	0	1	0	21	22	95,45%
Total	7	6	10	24	47	87,23%

O gráfico 5.11 mostra que houve a formação de 4 agrupamentos no presente estudo. O grupo 1 caracterizou-se por possuir os menores valores dos fatores analisados, o que acarretou em sua disposição no quadrante direito do gráfico, posição contrária aos vetores encontrados para os fatores. De maneira geral, os agrupamentos 2, 3 e 4, que estão à esquerda do gráfico, possuíram os maiores valores relativos dos fatores. A posição vertical dos agrupamentos e a proximidade dos mesmos com a origem do gráfico indicaram quais dos 4 fatores foram características dos determinados agrupamentos. É possível perceber que o grupo 4 apresentou elevada influência do fator F4 (à esquerda e acima do eixo horizontal, como o vetor F4). Já os grupos 2 e 3 apresentaram bastante influência dos fatores F1 e F2 (à esquerda e abaixo do eixo horizontal, como os vetores F1 e F2).

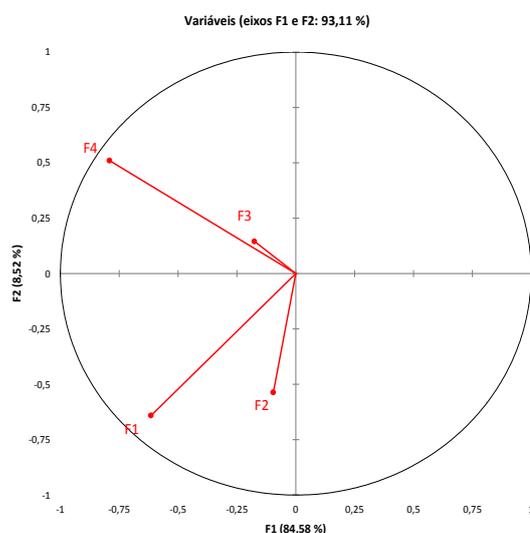


GRÁFICO 5.10 – Vetores obtidos por meio das variáveis analisadas

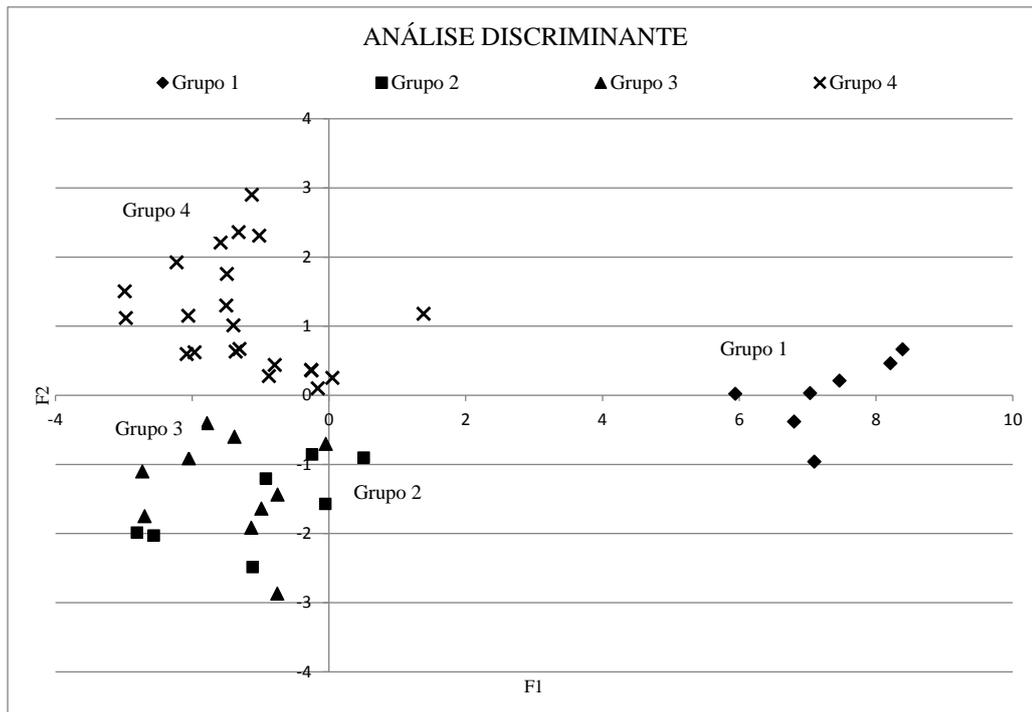


GRÁFICO 5.11 – Grupos formados pela análise discriminante dos fatores

A análise discriminante (tabela 5.13) explicou 93,10% da variabilidade registrada nos objetos de estudo (empresas) em relação aos fatores. O eixo 1 (horizontal – F1) foi responsável por explicar 84,58% do conjunto de dados e o eixo 2 (vertical – F2) explicou 8,52%. Uma vez que a soma de F1 e F2, em % acumulada, é igual a 93,10%, próxima de 100, pode-se concluir que a redução da dimensão foi eficaz.

A tabela 5.13 ilustra os resultados da AD em relação ao cálculo dos autovalores a partir dos dados coletados.

TABELA 5.13– Análise discriminante dos autovalores

	F1	F2	F3
Autovalor	10,138	1,022	0,826
Discriminação (%)	84,584	8,522	6,894
% acumulada	84,584	93,106	100,000

Pode-se afirmar que a classificação pela análise de *cluster*, levando-se em consideração os fatores extraídos da análise fatorial, foi validada pela análise discriminante. Portanto, os resultados permitiram detectar que houve a formação de 4 agrupamentos de empresas que são diferentes estatisticamente entre si quando considerados os fatores aqui

evidenciados, comprovando que os *clusters* são significativamente distintos entre si pelo fato de serem validados pela análise discriminante.

5.7 Análise de Correlação entre Grupos B x C x D do Questionário

A fim de checar a existência de correlação entre as respostas dos grupos distintos do questionário (B – *Lean Manufacturing*; C – *Lean Development*; D – Resultados obtidos no PDP) foram estimados os coeficientes de correlação multivariados (R_v) entre cada par de questionários separadamente. O coeficiente R_v foi inicialmente proposto por Escoufier (1973) e é uma medida de similaridade para o conjunto de dados multivariados dispostos em duas matrizes (tabelas), onde os resultados variam entre 0 (mínima similaridade) e +1 (máxima similaridade). Para testar se os coeficientes R_v estimados apresentaram significância estatística ($p = 0,5$) foi elaborada a hipótese nula de correlação entre os questionários (H_0 : questionário 1 = questionário 2) e esta foi analisada pelo teste de permutação multivariado proposto por Josse et al. (2007) entre dois questionários pareados.

As análises foram realizadas com o uso do *software* R versão 1.25 (CRAN.Project) e do pacote FactoMineR.

Os resultados dos coeficientes R_v estimados entre os questionários está ilustrado na tabela 5.14. Observou-se que quando comparados os conjuntos de dados dos questionários B x C (*Lean Manufacturing* x *Lean Development*) e B x D (*Lean Manufacturing* x Resultados obtidos no PDP) os valores dos coeficientes multivariados R_v estimados foram baixos, o que indicou que estes conjuntos de dados multivariados não são correlacionados entre si ($p < 0,5$) e que as respostas fornecidas pelos entrevistados em um destes questionários não esteve associada com do outro em questão. Por outro lado, quando confrontados os conjuntos de dados dos questionários C x D (*Lean Development* x Resultados obtidos no PDP), observou-se um alto coeficiente R_v que foi significativo estatisticamente ($p \geq 0,5$) e que permitiu o aceite da hipótese nula de correlação entre os dois conjuntos de dados. Dessa forma, pode-se inferir que respostas altas no questionário C estiveram associadas com respostas altas no D, assim com baixos valores em C estiveram associados a baixos valores em D.

TABELA 5.14 – Resultados dos coeficientes de correlação multivariados (R_v) estimados a partir do conjunto de dados de dois questionários pareados

	Questionário B	Questionário C	Questionário D
Questionário B	1,000	0,346	0,254
Questionário C	0,346	1,000	0,630
Questionário D	0,254	0,630	1,000

6. ANÁLISES DOS RESULTADOS

6.1 Análise dos Fatores

O desenvolvimento da pesquisa, realizada em empresas industriais brasileiras, indicou a existência de quatro fatores relevantes à implantação do *Lean Development*. O quadro 6.1 apresenta a relação desses quatro fatores com o *Lean Development*.

QUADRO 6.1 – Relação dos quatro fatores obtido na análise fatorial com o *Lean Development*

Fator	Relação com o <i>Lean Development</i>
F1 - <i>Lean Development</i> - princípios, gestão visual e mapeamento do fluxo de valor	Os princípios do <i>Lean Development</i> são fundamentais para uma boa implantação do mesmo. Tais conceitos possuem como base os conceitos enxutos, que são a base para a implantação de processos enxutos, com baixo desperdício. A gestão visual e o mapeamento do fluxo de valor, no <i>Lean Development</i> , são considerados práticas, ou ferramentas, que irão ajudar as empresas a implantarem os conceitos enxutos e, com isso, obterem os resultados de um processo enxuto
F2 - Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> e ESBC	As ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> estão, em sua maioria, ligadas aos conceitos do <i>Lean Development</i> . A ESBC é uma das práticas do <i>Lean Development</i> e é uma prática não encontrada em nenhum outro modelo de gestão de desenvolvimento de produto. É uma maneira diferente de enxergar as etapas de desenvolvimento de produto utilizadas pela Toyota, a qual é a pioneira na implantação do <i>Lean Development</i>
F3 - <i>Lean Manufacturing</i> - princípios e mapeamento do fluxo de valor	Os princípios do <i>Lean Manufacturing</i> são a base dos princípios e práticas do <i>Lean Development</i> . Ambos os princípios estão intimamente ligados, sendo o mapeamento do fluxo de valor do <i>Lean Manufacturing</i> utilizado como prática para se atingir a implantação do <i>Lean Development</i>
F4 - Resultados da área de desenvolvimento de produto	Os resultados da área de desenvolvimento de produto possuem relação direta com o <i>Lean Development</i> no sentido de que são esses resultados que irão evidenciar o quão bem aplicados estão os conceitos e práticas do <i>Lean Development</i> e, ainda, como os mesmos estão impactando nos resultados obtidos pela empresa

Os quatro fatores descritos acima constituem os meios para a implantação e medição dos resultados do *Lean Development*. Assim, a base para a implantação do *Lean Development* são os conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing*, bem como os conceitos e ferramentas do *Lean Development*. Ambos os conceitos tiveram suas origens nos princípios do *Lean*

Thinking, que são os conceitos necessários para que um processo possa funcionar de maneira enxuta. Se alguma área deseja ter seu processo enxuto, é com base nesses princípios que a mesma deve se suportar. Como visto na literatura, a utilização de tais princípios dentro de uma organização encontra inúmeros desafios e barreiras, que envolvem mudança na cultura dos indivíduos. Isso torna tais conceitos difíceis de serem implantados, devendo, portanto, serem suportados e incentivados pela liderança da empresa, para que os funcionários tenham, na liderança, um exemplo a ser seguido.

6.2 Análise dos Resultados em Relação à Tipologia das Empresas

Se considerarmos que a implantação do *Lean Development* depende da existência de uma grande consolidação dos princípios enxutos dentro da empresa, esta Tese propõe uma tipologia em relação à implantação do *Lean Development* a partir dos fatores contextuais identificados pela análise fatorial, para empresas industriais brasileiras.

Os resultados mostram a formação de quatro agrupamentos significativamente distintos entre si. O primeiro agrupamento, “empresas tradicionais”, possui 7 empresas, ou 14,9% das empresas analisadas. Estas empresas são as que possuem os menores fatores relativos em relação aos quatro fatores identificados na análise fatorial, ou seja, são as empresas que possuem os menores níveis de implantação do *Lean Manufacturing* e do *Lean Development*. Em relação aos fatores F1 (*Lean Development* – princípios, gestão visual e mapeamento do fluxo de valor) e F4 (Resultados obtidos pelo *Lean Development*), essas empresas são, de todas as empresas da amostra, as que possuem os menores valores encontrados. É de se esperar que empresas que não possuam os fatores 1, 2 e 3 bem implantados não consigam obter bons resultados em relação ao fator 4, uma vez que os resultados obtidos pelo *Lean Development* (F4) devem estar diretamente relacionados ao nível de implantação dos princípios e ferramentas do *Lean Manufacturing* e dos princípios e ferramentas do *Lean Development* (F1, F2 e F3). A variância intraclasse mostrou que o *cluster* 1 é o segundo *cluster* com empresas mais similares, ou seja, apenas o *cluster* 3 possui maior similaridade entre as empresas que o constituem. Isso mostra que as empresas que constituem o *cluster* 1 são bastante similares entre si em relação aos quatro fatores identificados pela análise fatorial.

O segundo agrupamento, composto pelas “empresas lean”, é formado por 8 empresas, ou 17% da amostra. Estas empresas são as que, de maneira geral, possuem o maior nível de implantação do *Lean Manufacturing*, *Lean Development* e, conseqüentemente, um alto nível dos resultados obtidos na área de desenvolvimento de produto. O fator 2 (ferramentas do *Lean*

Manufacturing e ESBC), para essas empresas, possui o maior nível de implantação do que para todas as outras empresas. Por outro lado, o fator 3 (*Lean Manufacturing* – princípios e mapeamento do fluxo de valor), para essas empresas, não possui o maior nível de implantação de todas as empresas da amostra. Isso sugere que essas empresas estão utilizando mais as ferramentas do *Lean Manufacturing* do que as outras empresas e que estão implantando o *Lean Development* mais do que as outras empresas da amostra. Porém, aqui surge um viés, uma vez que a gestão visual e o mapeamento do fluxo de valor do *Lean Manufacturing*, não tão utilizados por essas empresas (fator 3), são usados como ferramentas no *Lean Development* (F1), as quais são utilizadas por essas empresas. A variância intraclasse para o *cluster 2* foi a maior variância de todos os *clusters*, o que permite dizer que as empresas que o constituem são as menos similares entre si, no que diz respeito aos quatro fatores evidenciados na análise fatorial.

O terceiro agrupamento é constituído por 10 empresas, ou 21,2% das empresas pesquisadas. As empresas desse *cluster*, “empresas em evolução para o *Lean Development*”, são as que possuem, de maneira geral, uma média aplicação do *Lean Manufacturing* e do *Lean Development*. Os fatores F1 (*Lean Development* – princípios, gestão visual e mapeamento do fluxo de valor) e F3 (*Lean Manufacturing* – princípios e mapeamento do fluxo de valor) são os que possuem maiores valores para essas empresas, ou seja, essas empresas migram os princípios enxutos e o mapeamento do fluxo de valor da manufatura para o *Lean Development*. No entanto, essas empresas não aplicam tão fortemente a ESBC quanto as empresas do *cluster 2*. Sendo, de maneira geral, o *cluster 2* aquele que possui uma maior implantação tanto do *Lean Manufacturing* quanto do *Lean Development* (fato demonstrado pela somatória dos 4 fatores no *cluster*) e, também, o que mais aplica a ESBC e, por outro lado, sendo o *cluster 3* aquele que mais aplica os princípios tanto do *Lean Manufacturing* quanto do *Lean Development* mas não aplica muito efetivamente a ESBC, pode-se concluir que, para fins de resultados gerais a respeito da implantação do *Lean Development*, a ESBC possui uma grande peso pois as empresas que possuem os melhores resultados gerais (*cluster 2*) aplicam a ESBC mais efetivamente, mesmo com os princípios do *Lean Manufacturing* e do *Lean Development*, bem como as ferramentas mapeamento do fluxo de valor e gestão visual, não tão fortemente implantados. A variância intraclasse evidenciou que o *cluster 3*, mesmo sendo o segundo maior *cluster* em número de empresas, com 10 empresas em sua composição, é o *cluster* mais similar de todos, ou seja, as empresas que constituem esse *cluster* são altamente similares entre si em relação aos quatro fatores evidenciados na análise fatorial.

O quarto agrupamento possui 22 empresas em sua composição, ou 46,9% das empresas analisadas. As empresas desse *cluster* são as “empresas tradicionais com forte PDP” e possuem baixos valores para os fatores F1 (*Lean Development* – princípios, gestão visual e mapeamento do fluxo de valor) e F2 (ferramentas do *Lean Manufacturing* e ESBC), em comparação a todas as empresas analisadas, sendo que, para F2, essas empresas possuem os valores mais baixos, ou seja, o pior desempenho. Então, essas empresas possuem implantados apenas o F3 (*Lean Manufacturing* – princípios e mapeamento do fluxo de valor) e o F4 (resultados da área de desenvolvimento de produto), sendo que para F4 são as empresas que possuem os maiores resultados obtidos. Ou seja, essas empresas, que correspondem à maioria das empresas pesquisadas, somente aplicam os princípios e o mapeamento do fluxo de valor no *Lean Manufacturing*, mas não os migram para o processo de desenvolvimento de produto. Ainda, essas empresas não aplicam as ferramentas do *Lean Manufacturing*. Por outro lado, são essas as empresas que possuem os melhores resultados na área de desenvolvimento de produto, o que mostra que essas empresas conseguem obter bons resultados em desenvolvimento de produto, mesmo não aplicando nenhum conceito ou ferramenta do *Lean Development*. A variância intraclasse mostrou que o *cluster* 4, mesmo sendo o *cluster* com maior número de empresas (22 empresas), possui uma boa similaridade em relação às empresas que o compõem, no que diz respeito aos quatro fatores encontrados na análise fatorial.

A análise descritiva dos *clusters* permite concluir que a maioria das empresas de nacionalidades americana, brasileira e europeia está presente no *cluster* 4, “empresas tradicionais com forte PDP”. Já a maioria das empresas de nacionalidade asiática está presente no *cluster* 2, “empresas *lean*” e nenhuma empresa brasileira se encontra nesse *cluster*. Do ponto de vista do mercado de atuação, a grande maioria das empresas de bens de consumo (67%) se concentra no *cluster* 2, “empresas *lean*”, ou seja, a grande maioria das empresas de bens de consumo implantam o *Lean Manufacturing* e o *Lean Development*. Já metade das empresas automotivas e alimentícias, bem como a maioria das empresas metalúrgicas e siderúrgicas se concentra no *cluster* 4, “empresas tradicionais com forte PDP”. A única empresa do mercado aeronáutico encontra-se no *cluster* 3, “empresas em evolução para o *Lean Development*”. Empresas dos mercados químico e de higiene e saúde encontram-se distribuídas nos 4 *clusters*.

A análise discriminante evidenciou que os quatro *clusters* são significativamente diferentes entre si.

A análise de correlação entre os grupos do questionário mostrou que as respostas dos grupos C (*Lean Development*) e D (*resultados do Lean Development*) são altamente associadas. Ou seja, as respostas para as questões do grupo C impactam diretamente nas respostas das questões do grupo D, e vice versa. Porém, as respostas do grupo B (*Lean Manufacturing*) não possuem impacto nem nas respostas do grupo C, nem nas respostas do grupo D.

O quadro 6.2 apresenta as principais características dos quatro *clusters* observados nesta pesquisa.

QUADRO 6.2 – Principais características dos *clusters* formados

<i>Cluster</i>	Principais características
1 - Empresas tradicionais	Empresas que aplicam os princípios e ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> , porém, não de maneira tão eficaz ou sistêmica. Em relação ao <i>Lean Development</i> , essas empresas não aplicam nem os princípios nem as práticas do mesmo. Em termos de resultados na área do PDP, essas empresas são as que apresentam os piores resultados de todas as empresas pesquisadas. As empresas desse <i>cluster</i> são bastante semelhantes entre si.
2 - Empresas <i>lean</i>	Empresas que possuem, de maneira geral, o <i>Lean Manufacturing</i> e o <i>Lean Development</i> melhor implantados. Essas empresas aplicam as ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> e a ESBC mais do que todas as outras empresas pesquisadas. As empresas desse <i>cluster</i> são as mais diferentes entre si, em relação aos outros <i>clusters</i>
3 - Empresas em evolução para o <i>Lean Development</i>	Empresas que possuem os princípios do <i>Lean Manufacturing</i> mais bem implantados. Em relação ao <i>Lean Development</i> essas empresas aplicam muito bem a gestão visual e o mapeamento do fluxo de valor. As empresas desse <i>cluster</i> são as mais semelhantes entre si, dentre todos os <i>clusters</i>
4 - Empresas tradicionais com forte PDP	Empresas que não aplicam nem os princípios e nem as práticas do <i>Lean Manufacturing</i> e <i>Lean Development</i> . Aplicam de maneira não tão eficaz ou sistêmica, as ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> e a ESBC. São as empresas que possuem os melhores resultados na área de PDP, dentre todas as empresas pesquisadas. As empresas desse <i>cluster</i> , embora numeroso, são bastante similares entre si.

Tendo concluída a análise dos resultados, é possível responder o problema de pesquisa e validar, ou refutar, as hipóteses de pesquisa.

Em relação ao problema de pesquisa, temos: “As empresas brasileiras, com estratégias de *Lean Manufacturing* mais consolidadas, estão aplicando os conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto?”

A melhor resposta para o problema de pesquisa seria “em partes”. Como foi mostrado, as empresas do *cluster 1*, o qual representa 14,9% da amostra, embora estejam implantando o *Lean Manufacturing* há 5 anos ou mais, não apresentam os princípios e ferramentas do *Lean Manufacturing* ainda bem implantados. Nesse caso, é de se esperar que essas empresas não estejam migrando tais conceitos para o PDP por ainda não os possuírem completamente implantados.

Já as empresas do *cluster 2*, que corresponde a 17,0% da amostra, aplicam, de maneira geral, os conceitos enxutos utilizados na manufatura para o desenvolvimento de produto. Pode-se dizer o mesmo das empresas que constituem o *cluster 3*, o qual representa 21,2% da amostra. Com isso, é possível dizer que 38,2% das empresas pesquisadas aplicam os conceitos enxutos da manufatura no processo de desenvolvimento de produto.

No entanto, para as empresas do *cluster 4*, que representa 46,9% da amostra, não é possível dizer o mesmo. Essas empresas possuem um razoável nível de implantação do *Lean Manufacturing*, porém, não aplicam os conceitos enxutos advindos dessa implantação no processo de desenvolvimento de produto.

Com isso, temos que em um total de 85,1% das empresas pesquisadas que aplicam o *Lean Manufacturing* (*clusters 2, 3 e 4*), 38,2% migram esses conceitos para o PDP (*clusters 2 e 3*) e 46,9% não migram esses conceitos para o PDP (*cluster 4*).

Em relação às hipóteses de pesquisa, temos:

- H1: As empresas que possuem um elevado nível de implantação em *Lean Manufacturing* apresentam os melhores resultados no PDP.

De acordo com os resultados deste trabalho, as empresas que possuem um elevado nível de implantação do *Lean Manufacturing* são as empresas que constituem os *clusters 2 e 3*. Essas empresas não são as que possuem, em relação às empresas pesquisadas, os melhores resultados no PDP, pois as empresas que apresentam os melhores resultados no PDP são as empresas que constituem o *cluster 4*. Também, na análise de correlação entre os grupos do questionário, foi verificado um baixo coeficiente de correlação ($R_v = 0,254$) entre os grupos B (*Lean Manufacturing*) e D (Resultados obtidos no PDP), indicando que altos valores para as respostas em B (ou seja, alto nível de implantação do *Lean Manufacturing*) não estão associados com altos valores para as respostas em D (ou seja, bons resultados no PDP). Portanto, em relação à Hipótese 1, pode-se rejeitar a Hipótese.

- H2: As empresas que aplicam os princípios e ferramentas específicas do *Lean Development* no PDP apresentam os melhores resultados no PDP.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que as empresas que constituem os *clusters* 2 e 3 são as que possuem os princípios e ferramentas do *Lean Development* mais bem implantados. Essas empresas, em relação às empresas pesquisadas, não são as que possuem os melhores resultados no PDP, pois as empresas que apresentam os melhores resultados no PDP são as empresas que constituem o *cluster* 4. Por outro lado, na análise de correlação entre os grupos do questionário, foi verificado um alto coeficiente de correlação ($R_v = 0,630$) entre os grupos C (*Lean Development*) e D (Resultados obtidos no PDP), indicando que altos valores para as respostas em C (ou seja, alto nível de implantação do *Lean Development*) estão associados com altos valores para as respostas em D (ou seja, bons resultados obtidos no PDP). Portanto, em relação à Hipótese 2, não se pode rejeitar a Hipótese.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta Tese apresenta duas conclusões principais. A primeira refere-se à identificação de fatores contextuais que sustentam o *Lean Development* e a segunda trata da determinação de agrupamentos de acordo como cada um deles utiliza os fatores contextuais.

O *Lean Development* pode ser definido como um conjunto de princípios e ferramentas enxutas, dentre eles, os principais são a eliminação do desperdício, a redução de custo, a preocupação com a voz do cliente, a padronização das atividades, a escolha de um líder integrador, a capacitação técnica, a integração com os fornecedores, a consolidação do aprendizado, a reutilização do conhecimento, a gestão visual, o mapeamento do fluxo de valor e a ESBC. Dessa forma, o *Lean Development* apresenta muitos desafios para as instituições que o desejam implantar.

Para que fossem determinados os fatores que sustentam o *Lean Development*, este trabalho partiu do levantamento do referencial teórico sobre o *Lean Thinking*, que são os conceitos que basearam a elaboração dos princípios e ferramentas enxutas do *Lean Manufacturing* e do *Lean Development*. Com isso, foram determinadas as variáveis de pesquisa que foram utilizadas para a confecção do questionário de pesquisa, o qual foi o instrumento utilizado para a coleta de dados nas empresas industriais brasileiras que possuem implantados tanto o *Lean Manufacturing*, há 5 anos ou mais, quanto o processo de desenvolvimento de produto. Com isso, foram determinados, via análise fatorial, os quatro fatores que sustentam o *Lean Development* e, a partir desses fatores, foram identificados 4 agrupamentos (*clusters*), cada um com um grupo de empresas semelhantes entre si no que diz respeito à implantação dos princípios e ferramentas do *Lean Development*.

Como já mencionado no tópico 1.2 desta Tese, os resultados do *Lean Manufacturing* já são amplamente divulgados na literatura, mas pouco foi reportado a respeito dos resultados do *Lean Development*, como pôde ser visto na revisão bibliográfica desta Tese. No entanto, a maioria dos trabalhos encontrados sobre o *Lean Development* trata do tema no sentido de apresentar pesquisas sobre o número de empresas que estão implantando o *Lean Development*, mas muito pouco é encontrado sobre como essas empresas o fazem e, principalmente, sobre quais resultados essa aplicação está apresentando para a empresa. Alguns trabalhos tratam especificamente da investigação de como um princípio ou uma ferramenta enxuta do *Lean Development* estão sendo implantados e qual resultado isso traz para a empresa. Porém, como demonstrado nesta Tese, a implantação do *Lean Development*

se baseia muito além da implantação de um princípio ou uma ferramenta enxuta, especificamente.

Foi evidenciado que todas as empresas que constituem os *clusters* 1 (“empresas tradicionais”) e 4 (“empresas tradicionais com forte PDP”) não aplicam efetivamente nem o *Lean Manufacturing*, porém, responderam que aplicam não somente o *Lean Manufacturing* mas, também, o *Lean Development*. Isso deixa claro que aplicar alguns conceitos ou ferramentas, isoladamente, não significa, de fato, possuir o *Lean Manufacturing* ou o *Lean Development* implantados.

Todas as empresas do *cluster* 3 (“empresas em evolução para o *Lean Development*”) também responderam que aplicam o *Lean Manufacturing* e o *Lean Development*, mesmo este último não se encontrando completamente implantado. Porém, nesse caso, essas empresas apontam, de fato, que existe um caminho bem embasado para se chegar a tal objetivo. Isso mostra uma confusão por parte das empresas em relação ao que é “estar implantando” ou “possuir implantados” determinados conceitos. Ou seja, basear uma pesquisa com base na obtenção da informação de que as empresas estão aplicando o *Lean Development* se torna muito vago, uma vez que essa confusão por parte das empresas foi evidenciada neste trabalho.

Alguns trabalhos sobre o tema mostram que as empresas aplicam, por exemplo, o mapeamento do fluxo de valor no PDP e apresentam quais resultados isso gera para a empresa. A maioria desses trabalhos considera que tais empresas aplicam o *Lean Development*. No entanto, o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta advinda do *Lean Manufacturing* e, o fato de uma empresa aplicar essa ferramenta no PDP não significa, necessariamente, que a empresa aplica o *Lean Development* como abordagem para a gestão do seu PDP. Isso provoca um viés e, uma das maiores dificuldades deste trabalho foi identificar, na literatura, trabalhos sobre o tema que, efetivamente, tratavam o tema de maneira abrangente. Devido a isso, o número de trabalhos publicados utilizados para a redação desta Tese, referentes ao tema implantação do *Lean Development*, foi bastante prejudicado.

Esta Tese mostrou, por meio dos *clusters* formados, que as empresas que aplicam, por exemplo, a ESBC, que é uma das ferramentas do *Lean Development*, e que também aplicam os princípios do *Lean Development*, bem como o *Lean Manufacturing*, não apresentam os melhores resultados no PDP. Por outro lado, empresas que não aplicam nem os princípios nem as ferramentas do *Lean Development* e que aplicam somente alguns princípios e ferramentas do *Lean Manufacturing*, apresentam melhores resultados no PDP. Uma vez que essas últimas representam a grande maioria das empresas pesquisadas, podemos dizer que a

realidade das empresas industriais no Brasil, limitando-se à amostra pesquisada, é representada por empresas que possuem os princípios enxutos e ferramentas enxutas implantados na manufatura, mesmo que não completamente, e que não possuem nem os princípios e nem as ferramentas do *Lean Development* implantadas. Ou seja, elas não migram os conceitos enxutos para a área de desenvolvimento de produto e, ainda assim, possuem os melhores resultados nesta área. Isso mostra que o *Lean Development* pode não ser a melhor abordagem de gestão para o processo de desenvolvimento de produto nas empresas industriais brasileiras.

Visto ser o PDP uma área que requer um considerável investimento por parte das empresas e que, por isso, não é comumente encontrada em todas as empresas brasileiras, a economia e a cultura do país podem estar impactando direta e fortemente no modelo de gestão dessa área. Sendo o Brasil um país considerado como em desenvolvimento, pode ser que as empresas aqui instaladas possuam maior interesse em investir somente nos seus processos de manufatura e outros ligados mais diretamente à execução do produto final. Isto pode ser corroborado pelo fato do *cluster 2* (“empresas *lean*”) não ser constituído por nenhuma empresa brasileira. Isto é um assunto muito interessante a ser investigado.

Outro assunto muito interessante a se investigar é o fato de que a maioria das empresas que possuem a área de PDP no Brasil gerencia a mesma não pela abordagem do *Lean Development*, mas por algum modelo de gestão suficientemente eficiente, o qual permite que as mesmas sejam as que apresentam os melhores resultados nessa área, dentre todas as empresas analisadas neste trabalho.

7.1 Limitações da Pesquisa

A pesquisa apresentou algumas limitações que devem ser levadas em consideração no que diz respeito às discussões e contribuições deste trabalho.

A principal limitação se refere ao número de empresas pesquisadas, uma vez que esse número é de 47, inferior a 50, que é o número considerado adequado pela literatura. No entanto, se for levado em consideração o tamanho da população, que é de 73 empresas, temos que 47 empresas responderam o questionário de pesquisa, ou seja, 64,4% da população foi pesquisada, o que representa um número bastante considerável.

Outra limitação se refere ao fato de que a pesquisa ficou limitada à opinião de somente um funcionário da empresa, não sendo possível realizar uma análise comparativa

com a opinião de outros respondentes das empresas. Ou seja, um único funcionário representou a percepção de toda a organização em relação às questões envolvidas nesta Tese.

Os questionários foram respondidos sem a presença do pesquisador, o que pode gerar dúvidas por parte do respondente em relação às questões. Embora o questionário tenha sido validado estatisticamente por meio do teste piloto, existe a possibilidade do respondente encontrar algum tipo de dificuldade em respondê-lo.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Esta pesquisa apresentou algumas oportunidades de pesquisas futuras que poderão contribuir para um melhor conhecimento do tema *Lean Development*. Algumas dessas oportunidades são apresentadas a seguir:

- Trabalho teórico, atualizando o cenário no que diz respeito a separar em grupos, os trabalhos já existentes que avaliam princípios ou ferramentas do *Lean Development* implantados nas empresas, daqueles trabalhos que avaliam, de fato, como esse conjunto de princípios e ferramentas estão sendo implantados. Ou seja, apresentar quantas empresas já pesquisadas pela literatura estão avaliando, por meio da aplicação isolada de princípios ou ferramentas, a implantação do *Lean Development* e quantas empresas estão, de fato, já implantando o *Lean Development* ou caminhando para isso.

- Estudo de caso nas empresas que compõem o *cluster 2* identificado nesta Tese, as quais são as que possuem, em geral, o *Lean Manufacturing* e o *Lean Development* melhor implantados. Essa investigação poderá eliminar ou fortalecer algumas limitações desta Tese além de poder classificar em qual nível de maturidade do *Lean Development* essas empresas se encontram.

- Estudo de caso nas empresas que compõem o *cluster 4* identificado nesta Tese, as quais possuem os melhores resultados em PDP dentre as empresas pesquisadas, a fim de verificar quais são os fatores que as levam a esse bom desempenho.

- Estudo de caso em dois ou três mercados de atuação específicos, como o de bens de consumo, químico e automotivo, que foram os que se destacaram no *cluster 2* desta Tese. Essa pesquisa poderá confirmar, ou não, se esses mercados estão realmente engajados e, se sim, em que grau, na implantação do *Lean Development*.

- Pesquisa evidenciando se, e de que maneira, a economia e a cultura do Brasil influenciam na implantação do *Lean Development*.

- Estudo de caso, ou *survey*, correlacionando uma ou mais variáveis de controle com os resultados obtidos no PDP.

O *Lean Development* ainda oferece muitas oportunidades de pesquisa. De acordo com o surgimento de novos resultados, o tema poderá apresentar cada vez mais questões a serem tratadas e investigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULMALEK, F.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 223-36, 2007.

ABDULMALEK, F.; RAJGOPAL, J.; KENEEDY, K.L. A classification model for the process industry to guide the implementation of lean. **Engineering Management Journal**, v. 18, n. 1, p. 15-25, 2006.

ACHANGA, P.; SHEHAB, E.; ROY, R.; NELDER, G. Critical success factors for lean implementations within SMEs. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 4, p. 460-71, 2006.

AHLSTRÖM, P. Sequences in the implementation of lean production. **European Management Journal**, v. 16 n. 3, p. 327-34, 1998.

ANAND, G; KODALI, R. Selection of lean manufacturing systems using the analytic network process – a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 2, p. 258-89, 2009.

BALLÉ, F.; BALLÉ, M. Lean development (Toyota's product development process). **Business Strategy Review**, v.16, Issue: 3, p.17-22, 2005.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise de Multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 157p.

BATEMAN, N. Sustainability: the elusive element of process improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 3, p. 261-76, 2005.

BAUCH, C. **Lean Product Development: Making waste transparent**. Munich, 2004. 140 p. Tese (Doutorado) – Technical University of Munich. OU BAUCH, C. **Lean Product Development: Making Waste Transparent**. Thesis (Doctorate) – Massachusetts Institute of Technology; Cambridge. 2004.

BAYOU, M. E.; DE KORVIN, A. Measuring the leanness of manufacturing systems – a case study of Ford Motor Company and General Motors. **Journal of Engineering Technology Management**, v. 25, p. 287-304, 2008.

BJARNOE, O. C. **Lean thinking in product development**. European Productivity Conference, p. 44-46, 2006.

BLANCHARD, D. Lean green and low cost. **Industry Week**, v. 256, n. 10, p. 37-9, 2007.

BLECHER, N. **O Melhor Caminho para Inovar**. In: Estudo Exame Inovação e Empreendedorismo. Revista Exame, 29 mar. 2006, edição 864, ano 40, n.6, p.2-5.

BOYER, K. K. An assessment of managerial commitment to lean production. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 9, p. 48-58, 1996.

BROWNING, T. R.; HEATH, R. D. Reconceptualizing the effects of lean production costs with evidence from the F-22 program. **Journal of Operations Management**, v. 27, n. 1, p. 23-44, 2009.

BRYMAN, A. **Research Methods and organization studies**. London: Unwin Hyman, 1989. 304p.

CAGLIANO, R.; CANIATA, F.; SPINA, G. Lean, agile and traditional supply: how do they impact manufacturing performance? **Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 10, p. 151-64, 2004.

CARVALHO, J. L. M.; TOLEDO, J. C. The challenge of integrating applied research and product development process: Cases study. **Product: Management & Development**, vol. 6, n. 2, pp. 173-182, 2008.

CECCONELLO, I. **Adequação de um sistema de administração da produção à estratégia organizacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CONTI, R.; ANGELIS, J.; COOPER, C.; GILL, C. The effects of lean production on worker job stress. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 9, p. 1013-38, 2006.

CORMICAN, K.; O'SULLIVAN, D. Auditing best practice for effective product innovation management. **Technovation**, v.24, p. 819-829, 2004.

CORREA, C. Por Dentro da Maior Montadora do Mundo. **Revista Exame**, Maio de 2007, v.41, n.892, p.22-30.

COSTA NETO, P.L. **Estatística**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011. 280 p.

COYLE, J.J.; BARDI, E.J.; LANGLEY, C.J. Jr **Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective**, 7th ed., South-Western Thompson Learning, Mason, OH, 2003.

CUSUMANO, M.A. The limits of 'Lean'. **Sloan Management Review**, v. 35, n. 4, p. 27-32, 1994.

CUSUMANO, M.A.; NOBEOKA, K. **Thinking beyond lean: how multi-project management is transforming product development at Toyota and others companies**. New York: Free Pass, 1998. 248p.

DAL FORNO, et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: integrando a abordagem Lean no projeto conceitual. **GEPROS – Gestão da Produção, Operação e Sistemas**, Ano 3, n.4, p. 45-58, 2008.

DE TRÉVILLE, S.; ANTONAKIS, J. Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational and levels-of-analysis issues. **Journal of Operations Management**, v.24, n.2, p. 99-123, 2006.

DE TRÉVILLE, S.; ANTONAKIS, J.; EDELSON, N.M. Can standard operating procedures be motivating? Reconciling process variability issues and behavioural outcomes. **Total Quality Management and Business Processes**, v. 16, n. 2, p. 231-41, 2005.

DHANDAPANI, V.; POTTER, A.; NAIM, M. Applying lean thinking: a case study of an Indian steel plant. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, v. 7, n. 3, p. 239-50, 2004.

DOLL, W.J.; HONG, P.; NAHM, A. Antecedents and outcomes of manufacturability in integrated product development. **International Journal of Operations e Production Management**, v.30, n.8, p.821-852, 2010.

DUGUAY, C.; LANDRY, S.; PASIN, F. From mass production to flexible/agile production. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 12, p. 1183-95, 1997.

EMILIANI, M. L. **Real Lean: Understand the Lean Management System**, Vol. 1, CLBM, Wethersfield, CT, 2007.

ESCOUFIER, Y. Le traitement des variables vectorielles. **Biometrics**, v. 29, p. 751-760, 1973.

EVERITT B.S.; LANDAU S.; LEESE M. *Cluster analysis*. 4 ed., Arnold, London, 2001.

FORZA, C. Work organization in lean production and traditional plants: what are the differences? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 1, p. 42-58, 1996.

FORZA, C. *Survey* research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations and Production Management**. v.22, n.2, p.152-194, 2002.

FERDOWS, K.; DE MEYER, A. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 168-84, 1990.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A.Z.; MOSCAROLA, J. O método de pesquisa *survey*. **Revista de Administração da USP**, v.35, n.3, p.105-112. São Paulo, 2000.

FULLERTON, R. R.; McWATTERS, C. S.; FAWSON, C. An examination of the relationships between JIT and financial performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 4, p. 383-404, 2003.

GAGNON, M. A.; MICHAEL, J. H. Employee strategic alignment at a wood manufacturer: an exploratory analysis using lean manufacturing. **Forest Products Journal**, v. 53, n. 10, pp. 24-9, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3Ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GOLDSBY, T. J.; GRIFFIS, S. E.; ROATH, A. S. Modelling lean, agile, and leagile supply chain strategies. **Journal of Business Logistics**, v. 27, n. 1, p. 57-80, 2006.

GROEBNER, D. F.; MERZ, C. M. The impact of implementing JIT on employees' job attitudes. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 1, p. 26-37, 1994.

GUNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, n. 2, p. 201-210, 2006.

HAIR JR, J. F.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAIR, J.; BLACK, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. **Multivariate Data Analysis**. 6 ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2006.

HARRISON, A.; STOREY, J. New wave manufacturing strategies: operational, organizational and human dimensions. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 1-2, p. 63-76, 1996.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R. **Logistics Management and Strategy-competing Through the Supply Chain**, 3rd ed., Prentice Hall Financial Times, Upper Saddle River, NJ, 2008.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R.; HAUSMAN, A. Variations in relationship strength and its impact on performance and satisfaction in business relationships. **The Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 16, ns. 6/7, p. 600-17, 2001.

HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. (1988). **Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization**. New York: The Free Press, 1988.

HERRON, C.; BRAIDEN, P. M. A methodology for developing sustainable quantifiable productivity improvement in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 1, p. 143-53, 2006.

HINES, P.; FRANCIS, M.; FOUND, P. Towards lean product lifecycle management: a framework for new product development. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n.7, p. 866- 887, 2006.

HINES, P.; FOUND, P.; GRIFFITHS, G.; HARRISON, R. **Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving**, Innovative Manufacturing Research Centre, Cardiff University, Cardiff, 2008.

HINES, P. Purchasing for lean production: the new strategic agenda. **International Journal of Purchasing & Materials Management**, v. 32, n. 1, p. 2-10, 1996.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going Lean: A guide to implementation**. Lean Enterprise Research Centre, 2000. Disponível em: <<http://www.learninggrid.co.uk/pdocs/goinglean.pdf>>. Acesso em 05 Mar 2011

HOLDEN, M.T.; O'TOOLE, T. A quantitative exploration of communication's role in determining the governance of manufacturer-retailer relationships. **Industrial Marketing Management**, v. 33, p. 539-48, 2004.

JOBSON, J.D. **Applied Multivariate Data Analysis: Categorical and Multivariate Methods**. Vol. 2, Springer-Verlag, New York, 1992.

JOSSE, J.; HUSSON, F.; PAG`ESs, J. **Testing the significance of the RV coefficient**. Aveiro, Portugal, 2007.

KARLSSON, C.; ÅLHSTRÖM, P. The Difficult Path to Lean Product Development. **Journal of Product Innovation Management**, Vol. 13, pp. 2830-295, 1996.

KELLER, A.Z.; FOUAD, R.H.; ZAITRI, C.K. **Status and structure of just-in-time manufacturing in the UK.**, in Satir, A. (Ed.), *Just-in-time Manufacturing Systems*, Elsevier, Amsterdam, p. 115-31, 1991.

KENNEDY, M. N. **Product development for the lean enterprise**. Richmond: Oaklea Press, 2003.

KINCADE, D. H.; REGAN, C.; GIBSON, F. Y. Concurrent engineering for product development in mass customization for the apparel industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v.27, n.6, 2007, p. 627-649.

KIPPENBERGER, T. Lean production in an international supply chain. **The Antidote**, v. 2, n. 5, p. 17-18, 1997.

KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. **Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, p. 41-52, 1988.

KRISTOFFERSON, A.; LINDEBERG, C. **Lean Product Development in Swedish Industry**, Master's Thesis, Stockholm School of Economics, 2006.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 2, p. 1-19, 1998.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LEE, Q. Lean manufacturing strategy. **Strategos**, 2004. Available at: www.strategosinc.com

LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas**. São Paulo: Harbra, 1987.

LEWIS, M. A. Lean production and sustainable competitive advantage. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 8, p. 959-78, 2000.

LIKER, J. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill. New York, 2004.

LIKER, J.; MEIER, D. **The Toyota Way Fieldbook**. New York: McGraw-Hill, 2005.

LIN, Z.; HUI, C. Should lean replace mass organisation systems? A comparative examination from a management coordination perspective. **Journal of International Business Studies**, v. 30, n. 1, p. 45-80, 1999.

LOCHER, D. A. **Value Stream Mapping for Lean Development** – a how-to guide for streamlining time to market. Estados Unidos: CRC Press: 2008.

LOVRO, A. **Introdução ao desenvolvimento Lean de produtos**. Lean Summit 2008. Lean Institute Brasil, São Paulo/SP, 2008.

LUCATO, W. C.; MAESTRELLI, N. C.; VIEIRA JÚNIOR, M. Determinação do grau de enxugamento de uma empresa: uma proposta conceitual. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Campinas-SP, v. 12, n. 24, p.25-38, 2006.

LUCEY, J.; BATEMAN, N.; HINES, P. Why major lean transformations have not been sustained. **Management Services Journal**, v. 49, n. 2, p. 9-13, 2005.

MADHAVARAN, S.; APPAN, R. Developing complex , business-to-business products: issues and implications. **Management Search Review**, v.33, n.7, 2010, p. 715-733.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing**: uma orientação aplicada. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MANN, D. **Creating a lean culture**: tools to sustain lean conversion. New York: Productivity Press, 2005.

MARCHWINSK, C.; SHOOK, J. **Léxico Lean**: glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean. 2 ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2007. 231p.

MARKSBERRY, P. et al. Management directed kaizen: Toyota's Jishuken process for management development. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 6, 2010, p. 670-686.

MASCITELLI, R. **The lean design guidebook**: everything your product development team needs to slash manufacturing cost. Northridge: Technology Perspectives, 2004.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing**. 6 ed., v. 1, São Paulo: Atlas, 2005.

McIVOR, R. Lean supply: the design and cost reduction dimensions. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 7, p. 227-242, 2001.

McMANUS, H. L. **Product development value stream analysis and mapping manual (PDVSM)** – The Lean Aerospace Initiative, Center for Technology, Policy, and Industrial Development. Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2005, 116 p.

MOLS, N. P. How does concurrent sourcing affect performance? **Journal of Business e Industrial Marketing**, v.25, n.7, 2010, p. 525-534.

MORGAN, J. M. **High performance product development: a systems approach to a lean product development process**. Thesis (Phd) in industrial and operations engineering. The University of Michigan: 2002.

MORGAN, J.; LIKER, J. K. **Toyota's Product Development System**: Integrating People, Process and Technology. New York: Productivity Press, 2006.

MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: a review of thinking and research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 5, p. 551-582, 2012.

MUENSTERMANN, B.; VON STETTEN, A.; LAUMER, S.; ECKHARDT, A. The performance impact of business process standardization: HR case study insights. **Management Research Review**, v.33, n.9, p. 924-939, 2010.

MURMAN, E. M. et al. **Lean Enterprise Value: Insights**. New York: Polgrave, 2002.

NIEPCE, W.; MOLLEMAN, E. Characteristics of work organization in lean production and sociotechnical systems: a case study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 77-90, 1996.

OAKLAND, J. **Total Quality Management: The Route to Improving Performance**, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1993.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Portland, OR: Productivity Press, 1988.

OHNSMAN, A. Toyota **Trimming Auto-Development Time to 12 Months**. Bloomberg.com. Disponível em: <http://www.artoflean.com/articles/pdfs/>.

PARRY, G.; TUNER, C. E. Application of lean visual process management tools. **Production Planning and Control**, v. 17,n. 1, p. 77-86, 2006.

PESSÔA. M. V. P. **Proposta de um método para planejamento de desenvolvimento enxuto de produtos de engenharia**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2006.

PESSÔA, M. V. P.; LOUREIRO, G.; ALVES, J. M. An approach to lean development planning. **Complex systems concurrent engineering**, part 4, p.229-237, 2007.

RAHMAN, S.; LAOSIRIHONGTHONG, T.; SOHAL, A. S. Impact of lean strategy on operational performance: a study of Thai manufacturing companies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 7, p. 839-852, 2010.

REA, L. M.; PARKER, R. A. **Metodologia de pesquisa**: do planejamento à execução. São Paulo: Pioneira, 2000.

REINERTSEN, D. Let It Flow: how lean product development sparked a revolution. **Industrial Engineering**, p. 41-45, 2005.

RICH, N.; BATEMAN, N.; ESAIN, A.; MASSEY, L.; SAMUEL, D. **Lean Evolution**: Lessons from the Workplace. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

RICHARDS, C. Agile manufacturing: beyond lean. **Production & Inventory Management Journal**, v. 37, n. 2, p. 60-4, 1996.

ROTHER, M. **Toyota Kata**: gerenciando pessoas para Melhoria, Adaptabilidade e Resultados Excepcionais. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J.A. The integration of Six Sigma and lean management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n.3, p. 249-274, 2010.

SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; OLIVEIRA, E. S.; ALMEIDA, D. A. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produto. **Gestão da Produção**, v. 16, n. 3, p. 344-356, 2009.

SCHÄFER, H.; SORENSEN, D. J. Creating options while designing prototypes: value management in the automobile industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.21, n.6, p. 721-742, 2010.

SCHURING, R. W. Operational autonomy explains the value of group work in both lean and reflective production. **International Journal of Operation & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 171-82, 1996.

SEIBEL, F. O outro presidente operário. **Revista Exame**, ed. 862, ano 40, n.4, 2006.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles and performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, p. 129-49, 2003.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, p. 785-805, 2007.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**. [S.l.]: Productivity Press, 1981.

SOBEK, D.K. II; WARD, A.C.; LIKER, J.K. Toyota's principles of set-based concurrent engineering. **Sloan Management Review**, v. 40, n. 2, p. 67-83, 1999.

SORIANO-MEIER, H.; FORRESTER, P.L. A model for evaluate the degree of the leanness of manufacturing firms. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 13, n. 2, p. 104-9, 2002.

SPEAR, S.; BOWEN, H.K. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard Business Review**, v. 77, n. 5, p. 97-106, 1999.

SUZUKI, Y. Structure of the Japanese production system: elusiveness and reality. **Asian Business and Management**, v. 3, n. 2, p. 201-19, 2004.

SYNODINOS, N. E. The "art" of questionnaire construction: some important considerations for manufacturing studies. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 14, n. 3, p. 221-237, 2003.

TAJ, S. Lean Manufacturing performance in China: assessment of 65 manufacturing plants. **Journal of Manufacturing Technology**, v. 19, n.2, p.217-234, 2008.

TARALLO, F. B; FORCELLINI, F. A. **Mapeamento de fluxo de valor em atividades inerentes ao processo de desenvolvimento de produto (PDP): um estudo de caso**. XIV Simpósio de engenharia de produção, 2007.

TAPPING, D.; SHUKER, T. **Value Stream Management for the Lean Office**. Productivity Press, New Your, New York, United States, 2003.

TEIXEIRA, E. S. M. **Graus de maturidade da cultura lean do polo metal-mecânico do nordeste de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Instituto Superior Tupy/SOCIESC, 2012.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 600 p.

TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; MENDES, G. H. S.; JUGEND, D. Fatores críticos de sucesso no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica de pequeno e médio porte. **Gestão e Produção**, v. 15, n. 1, p. 117-134, 2008.

WAAL, A.A.; COUNET, H. Lessons learned from performance management systems implementations. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.58, n.4, p. 367-390, 2009.

WACKER, J. G. A theory of formal conceptual definitions: developing theory-building measurement instruments. **Journal of Operations Management**, v.22, n.6, p.629-50, 2004.

WANG, J.; KLEINER, B. H. The evolution of R&D Management. **Management Research News**, v.28, n.11/12, p. 88-95, 2005.

WARD, A. C. **Lean Product and Process Development**. Cambridge: The Lean Enterprise Institute, 2007. 208p.

WARD, A. C.; LIKER, J. K.; CRISTIANO, J. J.; SOBEK II, D. K. The second Toyota paradox: how delaying decisions can make better cars faster. **Sloan Management Review**, v. 36, n. 3, p. 43-61, 1995.

WEE, H. M.; WU, S. Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on Ford Motor Company. **Supply Chain Management: an International Journal**, v. 14, n.5, p. 335-341, 2009.

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

WOMACK, J.; JONES, D. – **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. Editora Campus, ed 5, Rio de Janeiro, 2004.

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

XU, L.; BEAMON, B.N. Supply chain coordination and cooperation mechanisms: an attribute-based approach. **Journal of Supply Chain Management**, v. 42, n. 1, p. 4-12, 2006.

ZAYKO, M.J.; BROUGHMAN, D.J.; HANCOCK, W.M. Lean manufacturing yields world-class improvements for small manufacturer. **IIE Solutions**, v. 29, n. 4, p. 36-40, 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Carta de Apresentação



GRUPO DE ESTUDO E PESQUISA EM QUALIDADE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
UNIVERSIDADE FERDERAL DE SÃO CARLOS

Prezado (a) respondente

A presente pesquisa busca realizar um levantamento de dados junto às empresas brasileiras que possuem atividades de desenvolvimento de produtos e que possuem a manufatura enxuta implantada ou em processo de implantação. A mesma possui como objetivo verificar se as empresas brasileiras estão aplicando os conceitos enxutos da manufatura no processo de desenvolvimento de produto.

O presente questionário demanda um rápido tempo de resposta e sua colaboração em preenchê-lo será de fundamental importância para a conclusão da pesquisa, que tem por objetivo fornecer dados importantes para as empresas que desenvolvem produtos.

Destacamos nosso compromisso de sigilo absoluto em relação às informações fornecidas e também nossa retribuição, com a divulgação dos resultados para as empresas participantes, a fim de que elas possam utilizá-los para seu crescimento e melhoria na área de desenvolvimento de produtos. Suas informações serão codificadas e permanecerão confidenciais.

Por este Termo de Confidencialidade os pesquisadores comprometem-se a:

- Preservar o sigilo e a privacidade das empresas cujos dados (informações e resultado de avaliações) serão estudados;
- Assegurar que as informações coletadas serão utilizadas, única e exclusivamente, para a execução do projeto em questão;
- Assegurar que os resultados da pesquisa somente serão divulgados de forma anônima em trabalhos científicos, não sendo usadas iniciais ou quaisquer outras indicações que possam identificar as empresas pesquisadas;
- Garantir que os respondentes terão a privacidade de seu nome garantida e seus dados pessoais não divulgados em nenhuma hipótese.

Se você possuir alguma dúvida ou pergunta, a qualquer momento, sobre a pesquisa ou os procedimentos de resposta, você pode entrar em contato pelo endereço de e-mail abaixo.

Agradecemos seu tempo e colaboração e colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos.

Por favor, inicie o preenchimento da pesquisa clicando em “Continuar”, no ícone logo abaixo.

Atenciosamente,

**Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos**

Contato: larissaguiga@yahoo.com.br

APÊNDICE B: Questionário de Pesquisa Estruturado

A - Dados gerais da empresa
1 - Nome da empresa (opcional):
2 - Cargo do entrevistado:
3 - Tempo que o entrevistado trabalha na empresa:
4 - Nacionalidade da empresa:
5 - Mercado de atuação da empresa:
6 - Porte da empresa: <input type="checkbox"/> Pequeno <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Grande
7 - A empresa possui desenvolvimento de produto na planta do entrevistado? (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não
8 - Qual é o grau de importância do processo de desenvolvimento de produto dentro da estratégia de competitividade da empresa? (<input type="checkbox"/>) Baixo (<input type="checkbox"/>) Médio (<input type="checkbox"/>) Alto
9 - Qual é a abrangência do escopo do processo de desenvolvimento de produto na planta do entrevistado? (<input type="checkbox"/>) Baixa - somente pequenas alterações/adequações em produtos existentes (<input type="checkbox"/>) Média - pequenas e grandes alterações/adequações em produtos existentes (<input type="checkbox"/>) Alta - pequenas e grandes alterações/adequações em produtos existentes, além de desenvolvimento de novos produtos e/ou tecnologias
10 - Qual é o tipo de processo existente na planta do entrevistado? (assinale com um X todas as alternativas que forem aplicáveis) (<input type="checkbox"/>) Batelada (<input type="checkbox"/>) Contínuo (<input type="checkbox"/>) Montagem (<input type="checkbox"/>) Injeção (<input type="checkbox"/>) Fundição (<input type="checkbox"/>) Conformação (<input type="checkbox"/>) Outro. Especificar:
B - Lean Manufacturing na planta do entrevistado
1 - A empresa (planta) possui um programa oficial de <i>Lean Manufacturing</i> ? (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não
Se a resposta anterior foi SIM, há quanto tempo? (<input type="checkbox"/>) 0 a 4 anos (<input type="checkbox"/>) 5 anos ou mais
OBS: para as próximas questões, utilize a seguinte escala:
(1) Nunca (2) Na minoria das vezes (3) Algumas vezes

(4) Na maioria das vezes	(5) Sempre				
	1	2	3	4	5
2 - Os funcionários da manufatura, na planta do entrevistado, recebem treinamento continuado sobre as práticas e ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> ?					
3 - A alta administração está ativamente liderando a implantação das práticas enxutas?					
4 - O mapeamento do fluxo de valor (VSM) está completamente aplicado na manufatura, planta do entrevistado?					
5 - O processo está sob controle estatístico, com capacidade medida e variabilidade do processo em constante redução?					
6 - O <i>layout</i> da planta propicia o fluxo de material e a constante redução das distâncias de deslocamento?					
7 - Métodos de trabalho padrão estão em uso na planta, de acordo com o tempo de ciclo atual, distribuindo e balanceando a carga de trabalho?					
C - Lean Development na planta do entrevistado					
1 - A empresa (planta) aplica os conceitos enxutos (<i>lean</i>) da manufatura no processo de desenvolvimento de produto? () Sim () Não					
OBS: Se a resposta da questão anterior foi SIM, não responda a questão 2 e vá direto para a questão 3.					
2 - Por que a empresa (planta) não aplica os conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produto? (assinale com um X uma única alternativa)					
() A empresa não possui conhecimento de que é possível aplicar os conceitos enxutos no desenvolvimento de produto					
() A empresa ainda não avaliou essa possibilidade					
() A empresa avaliou essa possibilidade, mas não possui recursos no momento					
() A empresa avaliou essa possibilidade e possui um planejamento para iniciar a aplicação dos conceitos enxutos no desenvolvimento de produto					
() A empresa já tentou aplicar os conceitos enxutos no desenvolvimento de produto, mas não obteve sucesso ou bons resultados com essa tentativa					
() Outro motivo. Especificar:					

3 - A equipe de desenvolvimento de produtos da empresa (planta) e sua liderança trabalham da seguinte maneira: (assinale com um X uma única alternativa)					
() Os membros da equipe, que atuam no desenvolvimento de um novo produto, desenvolvem as atividades do projeto de forma separada, cada um em sua própria área/departamento, e respondem somente ao gerente/chefe dessa área/departamento					
() Existe uma equipe com membros de diferentes áreas/departamentos, sendo que os mesmos participam integralmente ou parcialmente desta equipe. Existe um gerente/líder de projeto e os membros da equipe respondem tanto para esse gerente/líder quanto para o gerente/chefe de suas áreas/departamentos					
() Existe uma equipe com membros de diferentes áreas/departamentos, sendo que os mesmos participam integralmente desta equipe. Existe um gerente/líder de projeto e os membros da equipe respondem somente para esse gerente/líder					
OBS: para as próximas questões, utilize a seguinte escala:					
(1) Nunca (2) Na minoria das vezes (3) Algumas vezes (4) Na maioria das vezes (5) Sempre					
	1	2	3	4	5
4 - A empresa (planta) aplica o mapeamento do fluxo de valor (VSM) no processo de desenvolvimento de produto?					
5 - São aplicadas ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados no mapeamento do fluxo de valor do PDP?					
6 - O mapeamento do fluxo de valor é refeito após a aplicação das ferramentas de melhoria nos pontos de desperdício identificados inicialmente?					
7 - A empresa (planta) começa a desenvolver todas as alternativas de solução de projeto, identificadas no início do projeto, e vai eliminando as soluções conforme as mesmas apresentam falhas, até chegar a uma única solução final?					
8 - A empresa não define as especificações do produto antes de iniciar o desenvolvimento do mesmo mas, sim, somente conforme o projeto avança e poucas soluções ainda estão sendo desenvolvidas, de maneira que a capacidade dessas soluções em atingir os requisitos definem as especificações do produto.					

9 - A empresa (planta) elege um engenheiro chefe/líder para cada projeto de um novo produto, com elevada experiência técnica e gerencial, e com pelo menos 5 anos de atuação na área de projeto?						
10 - A empresa (planta) desenvolve as capacidades técnicas de cada engenheiro de desenvolvimento de produto, favorecendo o aperfeiçoamento e o aprofundamento do conhecimento técnico nas suas áreas de atuação?						
11 - As principais metas, prazos, pontos críticos e andamento do projeto são disponibilizados de maneira clara e visual para todas as áreas envolvidas no projeto?						
12 - Os dados disponibilizados de maneira clara e visual para a equipe de projeto, descritos na questão anterior, são constantemente atualizados?						
13 - A alta administração da planta é envolvida em todas as etapas do processo de desenvolvimento de produto?						
14 - As pessoas que adquirem conhecimento técnico específico ao desenvolver um projeto são alocadas no desenvolvimento de novos projetos que utilizarão o mesmo conhecimento?						
15 - A integração entre as áreas de manufatura e desenvolvimento de produto é alta?						
D - Resultados do <i>Lean Development</i> na planta do entrevistado						
OBS: Esta seção deve ser respondida somente se a planta do entrevistado aplica os conceitos enxutos no processo de desenvolvimento de produtos. <u>AS RESPOSTAS DEVEM SER BASEADAS NO PERÍODO POSTERIOR AO INÍCIO DA UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS ENXUTOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS</u>						
OBS: para as próximas questões, utilize a seguinte escala:						
(1) Nenhum(a) (2) Pequeno(a) (3) Moderado(a) (4) Grande (5) Muito grande						
		1	2	3	4	5
1 - Houve redução do número de protótipos físicos necessários no desenvolvimento do projeto?						
2 - Houve redução do número de alterações/revisões de desenhos e/ou formulações (ou seja, redução de retrabalhos) durante o desenvolvimento do projeto?						

3 - Houve redução na necessidade de repetição de testes, decorrentes de alterações e/ou reprovadas?					
4 - Houve redução de horas (tempo) de desenvolvimento de projeto?					
5 - Houve aumento na margem de lucro dos novos produtos?					
6 - Houve melhoria na relação custo/benefício para os clientes/consumidores?					

APÊNDICE C: Caracterização das Empresas da Amostra

Empresa	Nacionalidade	Porte	Mercado de atuação
1	Americana	Grande	Químico
2	Brasileira	Grande	Metalúrgico
3	Indiana	Grande	Metalúrgico
4	Holandesa	Grande	Alimentício
5	Italiana	Grande	Automotivo
6	Inglesa	Grande	Bens de consumo
7	Sueca	Grande	Automotivo
8	Alemã	Médio	Bens de consumo
9	Sueca	Grande	Alimentício
10	Alemã	Médio	Bens de consumo
11	Alemã	Médio	Bens de consumo
12	Japonesa	Grande	Automotivo
13	Americana	Grande	Automotivo
14	Belga	Grande	Químico
15	Americana	Grande	Higiene e Saúde
16	Americana	Grande	Automotivo
17	Brasileira	Grande	Aeronáutico
18	Brasileira	Grande	Químico
19	Alemã	Grande	Automotivo
20	Francesa	Grande	Químico
21	Coreana	Grande	Bens de consumo
22	Sueca	Grande	Bens de consumo
23	Italiana	Grande	Automotivo
24	Alemã	Grande	Automotivo
25	Alemã	Grande	Automotivo
26	Francesa	Grande	Alimentício
27	Americana	Grande	Automotivo
28	Holandesa	Grande	Alimentício

29	Americana	Grande	Siderúrgico
30	Americana	Grande	Bens de consumo
31	Americana	Grande	Químico
32	Brasileira	Grande	Metalúrgico
33	Sueca	Grande	Alimentício
34	Brasileira	Grande	Alimentício
35	Americana	Grande	Higiene e Saúde
36	Brasileira	Médio	Metalúrgico
37	Alemã	Grande	Químico
38	Americana	Grande	Higiene e Saúde
39	Americana	Grande	Metalúrgico
40	Americana	Grande	Metalúrgico
41	Americana	Grande	Bens de consumo
42	Coreana	Grande	Bens de consumo
43	Americana	Grande	Químico
44	Brasileira	Médio	Metalúrgico
45	Brasileira	Grande	Siderúrgico
46	Alemã	Grande	Automotivo
47	Americana	Grande	Automotivo