

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MODULARIDADE EM ORGANIZAÇÕES INDUSTRIAIS:  
PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MARIA RITA PONTES ASSUMPÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção).

SANTA BÁRBARA D'OESTE

**2020**

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MODULARIDADE EM ORGANIZAÇÕES INDUSTRIAIS:  
PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

Tese de Doutorado defendida em 28 de fevereiro de 2020, à Banca Examinadora,  
constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP - PPGEP)

Prof. Dra. Maria Rita Pontes Assumpção

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP - PPGEP)

Prof. Dr. André Luis Helleno

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP - PPGEP)

Prof. Dra. Maria Célia de Oliveira

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP - PPGEP)

Prof. Dra. Alessandra Rachid

Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP  
Bibliotecário: Fábio Henrique dos Santos Corrêa – CRB: 8/10150

B465a Benez, Rogério Camargo  
Avaliação do nível de modularidade em organizações industriais: proposição de um modelo de equações estruturais / Rogério Camargo Benez. – 2020.  
165 fls.; il.; 30 cm.

Orientador (a): Prof. Dra. Maria Rita Pontes Assumpção.  
Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Santa Bárbara D'Oeste, 2020.

1. Empresas brasileiras. 2. Indicadores. 3. Modelagem de equações estruturais. 4. Modularidade do produto. I. Assumpção, Maria Rita Pontes. II. Título.

CDD – 670

## DEDICATÓRIA

À minha avó Ignez, que sempre orou pela nossa família.

Ao Prof. Dr. Tomaz Caetano Rípoli (*in memoriam*), amigo e inspirador.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me permitir, orientar, conduzir e inspirar.

Aos meus pais, José Carlos (*in memoriam*) e Marileusa, pelo berço, pela educação, pelos valores e ensinamentos de vida.

A minha esposa Ana Paula, pelo amor, companheirismo e dedicação.

Ao meu filho, Lucas, por despertar em mim os mais profundos sentimentos, inclusive, o amor incondicional.

À minha irmã, pelo incentivo e força.

Aos meus amigos que me ajudaram com o trabalho de campo, respondendo aos questionários.

Às empresas que abriram as portas e possibilitaram a realização prática deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Rita Pontes Assumpção, pelo apoio, paciência e pela orientação.

À Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da FEAU-UNIMEP, em especial à Marta Helena T. Bragaglia, por sua atenção.

A CAPES e à UNIMEP, pela concessão do auxílio à capacitação profissional e docente.

BENEZ, Rogério. **Avaliação do nível de modularidade em organizações industriais: proposição de um modelo de equações estruturais**. 2020. 167 f. (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

## RESUMO

As empresas de manufatura tem desafios para manterem-se competitivas perante a um cenário globalizado. Além de reduzir custos, precisa atender rapidamente as expectativas dos clientes de seus produtos, oferecendo uma maior variedade de produtos com qualidade. Os produtos se tornam comoditizados com grande facilidade e a agilidade na diferenciação deles é um recurso competitivo. A modularização é uma forma de responder a esses desafios, para ganhos potenciais, por exemplo, por meio do aumento da produtividade, flexibilidade, agilidade e inovação de produtos. Esta tese contribui para apoiar a solução deste problema, analisando os efeitos decorrentes da adoção da modularidade do produto em áreas estratégicas e operacionais de empresas brasileiras. Para tanto, propõe-se um modelo para avaliar o nível de modularidade das empresas por meio das relações entre a modularidade do produto, o desenvolvimento de novos produtos, processos de montagem e externalização de atividades, com consequente mudança na estrutura organizacional. Este modelo foi construído a partir de elementos conceituais extraídos da literatura e que caracterizam a modularidade do produto e as demais áreas abordadas. O modelo, bem como as hipóteses nele circunscritas, foram testados empiricamente com base nos procedimentos metodológicos do método de Modelagem de Equações Estruturais, complementado pela proposição de indicadores que medem a eficiência da modularidade e evidenciam os resultados da sua aplicação. O modelo tem sua validação em três empresas brasileiras que aplicam a modularidade do produto e que apresentam diferenças, tanto no sistema de produção como no desenvolvimento de produtos e a nível organizacional. Foram realizadas análises comparativas entre as empresas possibilitando verificar a utilidade da proposta. A modularidade é um assunto bem estudado na academia e este estudo ampliará as reflexões sobre sua aplicação prática.

**PALAVRAS-CHAVE:** modularidade do produto, modelagem de equações estruturais, indicadores, empresas brasileiras.

BENEZ, Rogério. **Evaluation of the modularity level in industrial organizations: proposition of a structural equations modelling.** 2020. 167 f. (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

### *ABSTRACT*

Manufacturing companies have challenges to remain competitive in the face of a globalized scenario. In addition to reducing costs, it needs to quickly meet customer expectations for its products, offering a greater variety of quality products. The products become commoditized with great ease and the agility in differentiating them is a competitive resource. Modularization is a way to respond to these challenges, for potential gains, for example, through increased productivity, flexibility, agility and product innovation. This thesis contributes to support the solution of this problem, analyzing the effects resulting from the adoption of the product's modularity in strategic and operational areas of Brazilian companies. To this end, a model is proposed to assess the level of modularity of companies through the relationships between product modularity, the development of new products, assembly processes and externalization of activities, with a consequent change in the organizational structure. This model was built from conceptual elements extracted from the literature and which characterize the modularity of the product and the other areas covered. The model, as well as the hypotheses contained in it, were tested empirically based on the methodological procedures of the Structural Equation Modeling method, complemented by the proposition of indicators that measure the efficiency of modularity and show the results of its application. The model has its validation in three Brazilian companies that apply the modularity of the product and that present differences, both in the production system, in the development of products and at the organizational level. Comparative analyzes were carried out between the companies, making it possible to verify the usefulness of the proposal. Modularity is a well-studied subject in academia and this study will expand the reflections on its practical application.

**KEYWORDS:** *product modularity; structural equation modeling; indicators; brazilian companies.*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.2. JUSTIFICATIVA .....	5
1.3. DELIMITAÇÕES DO ESCOPO DO TRABALHO.....	6
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
2.1. REVISÃO DA LITERATURA .....	10
2.2. CONCEITOS.....	16
2.2.1. MÓDULO, MODULARIDADE, MODULARIZAÇÃO.....	17
2.2.2. FAMÍLIA DE PRODUTOS, PLATAFORMA DE PRODUTO E ARQUITETURA MODULAR.....	21
2.2.3. TIPOS DE MODULARIDADE .....	23
2.2.4. MODULARIDADE DO PRODUTO OU DO PROJETO DO PRODUTO (MD) .....	23
2.2.5. MODULARIDADE NA PRODUÇÃO OU EM PROCESSOS (MP) .....	27
2.2.6. MODULARIDADE ORGANIZACIONAL OU EM PROCESSOS ORGANIZACIONAIS (MO) 28	
2.3. EFEITOS DA APLICAÇÃO DA MD NO AMBIENTE INDUSTRIAL .....	30
2.3.1. EFEITOS DA MD NA PRODUÇÃO (PR) .....	30
2.3.2. EFEITOS DA MD NA ORGANIZAÇÃO (OR) .....	33
2.4. MÉTODOS E ABORDAGENS PARA A MODULARIZAÇÃO .....	35
2.4.1. TRABALHOS QUE APLICARAM ESTUDO DE CASO .....	37
2.4.2. TRABALHOS QUE UTILIZARAM A SURVEY .....	38
2.4.3. TRABALHOS QUE DESENVOLVERAM MODELOS CONCEITUAIS.....	39
2.5. MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (SEM).....	39
2.6. INDICADORES .....	42
2.6.1. INDICADORES PARA AVALIAR MD .....	42
3. MÉTODOS E ABORDAGENS .....	50
3.1. REFERENCIAL TEÓRICO .....	51
3.1.1. IDENTIFICAÇÃO DAS OPORTUNIDADES DE PESQUISA .....	51
3.1.2. CONCEITOS SOBRE MODULARIDADE E MODULARIZAÇÃO.....	52
3.1.3. MÉTODOS E ABORDAGENS PARA A MODULARIZAÇÃO.....	53
3.1.4. INDICADORES PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA DA MODULARIDADE .....	53
3.2. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL .....	55



3.2.1.	ABORDAGENS PARA TESTAR O MODELO PROPOSTO .....	55
3.2.2.	CONSTRUÇÃO DO MODELO E DAS HIPÓTESES DE PESQUISA.....	56
3.2.3.	VALIDAÇÃO DO MODELO .....	58
3.2.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES-ALVO .....	58
3.2.5.	SURVEY PARA VALIDAÇÃO DO MODELO .....	60
3.2.6.	APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS .....	60
3.2.7.	RETROALIMENTAÇÃO DO MODELO .....	62
3.2.8.	ESTUDOS DE CASO .....	62
3.3.	ABORDAGENS PARA VERIFICAÇÃO DA MODULARIDADE .....	66
3.3.1.	AVALIAÇÃO DA MODULARIDADE EM EMPRESAS BRASILEIRAS .....	66
3.3.2.	INDICADORES PARA MODULARIDADE .....	67
4.	RESULTADOS .....	69
4.1.	PROPOSIÇÃO DO MODELO E DAS HIPÓTESES DA PESQUISA .....	70
4.1.1.	DESCRIÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	74
4.2.	VALIDAÇÃO DO MODELO E DAS HIPÓTESES DE PESQUISA .....	77
4.2.1.	VALIDAÇÃO DAS DIMENSÕES.....	77
4.2.2.	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PD) .....	78
4.2.3.	PRODUÇÃO (PR).....	80
4.2.4.	ORGANIZACIONAL (OR) .....	81
4.2.5.	MODULARIDADE DO PRODUTO (MD).....	82
4.2.6.	MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (SEM) .....	85
4.2.7.	MODELO AJUSTADO .....	91
4.3.	ESTUDOS DE CASO NAS MONTADORAS.....	92
4.3.1.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS ESTUDOS DE CASO .....	93
4.3.2.	EFEITOS DA MD NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PD) .....	97
4.3.3.	EFEITOS DA MD NA PRODUÇÃO (PR) .....	99
4.3.4.	EFEITOS DA MD NA ORGANIZAÇÃO (OR) .....	101
4.4.	MODELO AJUSTADO DAS MONTADORAS.....	104
4.4.1.	NÍVEL DE MODULARIDADE.....	106
4.5.	SURVEY SOBRE A ADOÇÃO DA MD NA INDÚSTRIA .....	108
4.6.	ESTUDO DE CASO PARA IDENTIFICAR INDICADORES .....	115
4.6.1.	INDICADORES PARA MEDIR MD NA PRODUÇÃO (PR) .....	115
4.6.2.	INDICADORES PARA MEDIR MD NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PD)	120
4.6.3.	INDICADORES PARA MEDIR MD NA ORGANIZAÇÃO (OR) .....	121

4.6.4. INDICADORES.....	122
5. CONCLUSÃO .....	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
APÊNDICE 1: QUESTIONÁRIO APLICADO NOS ESTUDOS DE CASO NAS MONTADORAS ...	147

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVE	VARIÂNCIA MÉDIA EXTRAÍDA
CC	PROXIMIDADE DO CLIENTE
CEO	DIRETOR GERAL ( <i>CHIEF EXECUTIVE OFFICER</i> )
CFI	ÍNDICE DE AJUSTE COMPARATIVO ( <i>COMPARATIVE FIT INDEX</i> )
CTIC	CORRELAÇÃO CORRIGIDA E ITEM TOTAL
GFI	ÍNDICE DE QUALIDADE DE AJUSTE ( <i>GOODNESS OF FIT INDEX</i> )
H1, H2, H3	HIPÓTESES DA PESQUISA
IFI	ÍNDICE DE AJUSTE INCREMENTAL BOLLEANO ( <i>BOLLEN'S INCREMENTAL FIT INDEX</i> )
KMO	TESTE KAISER-MEYER-OLKIN
LISREL	RELAÇÃO ESTRUTURAL LINEAR ( <i>LINEAR STRUCTURAL RELATIONSHIP</i> )
MD	MODULARIDADE DO PRODUTO
MO	MODULARIDADE ORGANIZACIONAL
MP	MODULARIDADE DA PRODUÇÃO
MS	MODULARIDADE EM SERVIÇOS
MFD	DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÃO MODULAR ( <i>MODULAR FUNCTION DEPLOYMENT</i> )
MQB	MATRIZ TRANSVERSAL MODULAR ( <i>MODULAR TRANSVERSE MATRIX</i> )
MBMP	FABRICAÇÃO BASEADA EM MODULARIDADE ( <i>MODULARITY BASED MANUFACTURING PRACTICES</i> )
MD -> PD	EFEITO DE MD SOBRE PD
MD -> PR	EFEITO DE MD SOBRE PR
MD -> OR	EFEITO DE MD SOBRE OR
OR	ORGANIZACIONAL
PD	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
PR	PRODUÇÃO
PCP	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO
R	NÍVEL DE MODULARIDADE
RMS	SISTEMAS DE MANUFATURA RECONFIGURÁVEIS
RMSEA	RAIZ QUADRADA MÉDIA DO ERRO DE APROXIMAÇÃO ( <i>ROOT MEAN SQUARE ERROR OF APPROXIMATION</i> )
SEM	MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS
TLI	ÍNDICE DE TUCKER LEWIS ( <i>TUCKER LEWIS INDEX</i> )

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
FIGURA 2. EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE MÓDULO.....	17
FIGURA 3. COMPARAÇÃO ENTRE PRODUTOS INTEGRAIS E MODULARIZADOS. ....	19
FIGURA 4. CINCO ABORDAGENS DE MODULARIZAÇÃO. ....	20
FIGURA 5. CONCEITOS RELACIONADOS À MODULARIDADE.....	23
FIGURA 6. CONSÓRCIO MODULAR DA VOLKSWAGEN CAMINHÕES. ....	28
FIGURA 8. FILOSOFIA DE MODELAGEM COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS. ....	40
FIGURA 9. MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS. ....	41
FIGURA 10. FASES E ETAPAS DA PESQUISA. ....	50
FIGURA 11. EMPRESAS QUE PARTICIPARAM DA SURVEY PARA VALIDAÇÃO DO MODELO..	61
FIGURA 12. SÍNTESE DOS RESULTADOS. ....	69
FIGURA 13. MODELO PROPOSTO E HIPÓTESES DE PESQUISA. ....	73
FIGURA 14. PARÂMETROS PADRONIZADOS DO MODELO AJUSTADO.....	91
FIGURA 15. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: TRATOR).....	94
FIGURA 16. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS).....	95
FIGURA 17. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: ELETRODOMÉSTICOS).....	96
FIGURA 18. EFEITOS DA MD EM PD. ....	97
FIGURA 19. EFEITOS DA MD EM PR. ....	99
FIGURA 20. EFEITOS DA MD NA OR. ....	102
FIGURA 21. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (TRATOR).....	104
FIGURA 22. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS)..	105
FIGURA 23. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (ELETRODOMÉSTICOS).....	106
FIGURA 24. EMPRESAS QUE APLICAM OU NÃO A MD. ....	108
FIGURA 25. TEMPO DE APLICAÇÃO DA MD PELAS EMPRESAS. ....	109
FIGURA 26. PERSPECTIVA DAS EMPRESAS EM RELAÇÃO À MD. ....	110
FIGURA 27. EFEITOS DA MD NA PRODUÇÃO (PR). ....	111

FIGURA 28. EFEITOS DE MD NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PD). .....	112
FIGURA 29. EFEITOS DE MD NA ORGANIZAÇÃO (OR). .....	113
FIGURA 30. SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DOS PRODUTOS A E B.....	116
FIGURA 31. ESQUEMA DAS LINHAS DE MONTAGEM PARA PRODUTOS MODULARES. ....	117

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1. OPORTUNIDADES DE PESQUISA IDENTIFICADAS. ....	14
QUADRO 2. CONCEITOS ASSOCIADOS À MD .....	25
QUADRO 3. EFEITOS DA ESTRATÉGIA MODULAR NA PRODUÇÃO.....	32
QUADRO 4. EFEITOS DA ESTRATÉGIA MODULAR ORGANIZAÇÃO (OR).....	34
QUADRO 5. TRABALHOS QUE APLICARAM ESTUDO DE CASO, SURVEY E DESENVOLVERAM MODELOS CONCEITUAIS PARA O ESTUDO DA MODULARIDADE.....	36
QUADRO 6. INDICADORES PESQUISADOS EM TRABALHOS PUBLICADOS.....	48
QUADRO 7. CONSTRUÇÃO DAS BUSCAS NAS BASES DE DADOS.....	54
QUADRO 8. DIMENSÕES E VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DO MODELO. ....	57
QUADRO 9. TÓPICOS ABORDADOS NO ESTUDO DE CASO APLICADO NAS MONTADORAS..	65
QUADRO 10. VARIÁVEIS QUE FORMAM O MODELO. ....	71
QUADRO 11. INDICADORES IDENTIFICADOS NA ABORDAGEM À MONTADORA. ....	122

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO PD. ....	79
TABELA 2. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO PD. ....	79
TABELA 3. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO PD. ....	79
TABELA 4. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO PR. ....	80
TABELA 5. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO PR. ....	81
TABELA 6. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO PR. ....	81
TABELA 7. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO OR. ....	82
TABELA 8. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO OR. ....	82
TABELA 9. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO OR. ....	82
TABELA 10. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO MD. ....	83
TABELA 11. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO MD. ....	83
TABELA 12: CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE TODOS OS ITENS. ....	84
TABELA 13. MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE DO MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS AJUSTADO COM ITEM PARCELING. ....	86
TABELA 14. PARÂMETROS DO MODELO AJUSTADO. ....	88
TABELA 15. MEDIDAS DE CONFIABILIDADE DO MODELO AJUSTADO. ....	90
TABELA 16. NÍVEL DE MODULARIDADE. ....	107
TABELA 17. COMPARATIVO ENTRE PRODUTOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE MODULARIDADE. ....	116
TABELA 18. AUTOMAÇÃO EM LINHAS DE MONTAGEM DE PRODUTOS MODULARES. ....	118

## 1. INTRODUÇÃO

Em uma tentativa de entregar produtos mais inovadores e com maior rapidez aos clientes, as empresas estão usando a estratégia da modularidade do produto (MD), concentrando-se na arquitetura do produto, na redução da complexidade, nos custos e no menor tempo de lançamento no mercado.

A modularidade também está vinculada aos planos de ciclo de vida de produtos, que estão diretamente conectados ao planejamento estratégico para o desenvolvimento de novos produtos. Dessa forma, as empresas buscam a conquista da excelência operacional e vantagem competitiva em um mercado globalizado.

Difundida na década de 90, a modularidade se espalhou para além do setor automotivo, alcançando campos tão diversos quanto energia, eletroeletrônicos, máquinas e equipamentos. O design modular é uma abordagem que subdivide um sistema (produto) em partes menores (módulos) que podem ser criadas independentemente e depois combinadas por meio de interfaces padronizadas.

Cada um dos módulos pode ser dividido em sub módulos identificáveis, que podem ser testados individualmente e serem montados independentemente. Dessa forma, a modularidade permite que os fabricantes preservem a flexibilidade e combinem as vantagens da padronização com as da customização, construindo produtos diferenciados que podem ser produzidos em massa (alto volume igual a baixos custos de fabricação).

Os proponentes dizem que um grande motivo para implementar uma estratégia modular é que produtos padronizados não satisfazem clientes globais diversos e exigentes. Portanto, uma estratégia modular ajuda as empresas a preservar essas características variadas, equilibrar necessidades regionais e de clientes com os efeitos do compartilhamento da plataforma, maximizando as economias de escala.

Além do desenvolvimento de produtos (PD), a estratégia modular vem sendo aplicada em outros setores e funções, destacando-se mais recentemente a área de serviços, onde a combinação de módulos flexíveis de serviços possibilita atender às necessidades específicas de cada cliente (customização dos serviços).



Na manufatura, uma vantagem estratégica da modularidade é a possibilidade de planejar a produção (PR) de acordo com a demanda, prevendo a sazonalidade do negócio e permitindo a realização de apenas uma ou mais etapas da produção (PR). Dessa forma, pode-se criar novos mercados, deixando de vender o produto completo, mas apenas uma parte dele. Ou mesmo apostar na customização dos produtos.

Atualmente, tratando-se de manufatura, a modularidade é um dos princípios que contribuem diretamente para a implantação da Indústria 4.0. A customização prévia de produtos por parte dos consumidores, que lentamente é adotada pelas empresas devido ao aumento dos custos e processos de manufatura, será um dos serviços que mais ganharão com essa nova era da indústria.

Como as máquinas contarão com sistemas inteligentes, a capacidade de permitir a personalização de acordo com as preferências dos clientes será elevada, que torna a experiência do consumidor e o relacionamento com as empresas ainda mais próximo e forte.

A área de compras também é afetada pela estratégia modular. A comunalidade, uma característica da modularidade, não é um fim em si mesma. Na indústria de produtos da linha branca, por exemplo, módulos comuns, como a eletrônica, trocadores de calor, motores e compressores elétricos, podem ser usados em uma variedade de produtos, como aparelhos de ar condicionado, fornos e geladeiras. Isso foi desenvolvido para aumentar o número de componentes comuns usados em várias marcas e produtos fazendo com que os custos de produção dos componentes, ao serem partilhados por diferentes modelos e, portanto, produzidos em maior número, sejam drasticamente produzidos.

No campo acadêmico, a modularidade vem sendo abordada há décadas. A revisão de literatura, realizada para criar a fundamentação teórica deste trabalho, evidenciou a contribuição de vários autores.

Entretanto, ao observar as pesquisas realizadas sobre o tema, ainda existem vários aspectos abertos à discussão, pois seus resultados, na maioria dos estudos, qualitativos, apresentam lacunas e incongruências que necessitam de investigação. Essas lacunas ficam ainda mais evidentes após a prospecção de trabalhos que utilizam métodos quantitativos mais robustos.

Nota-se a carência de estudos no campo, que mostrem os benefícios e dificuldades de se implementar a estratégia modular. Tal carência e necessidade de entendimento é confirmada por Yin *et al.* (2018), Wang *et al.* (2017), Piran *et al.* (2017), Kubota *et al.* (2017), Vickery *et al.* (2015) e outros estudos que ainda serão apresentados por este trabalho.

Pesquisas apontam que a modularidade vem sendo praticada principalmente nas montadoras, parte final da cadeia produtiva, porém estudos em fornecedores ainda são incipientes. Em se tratando de montadoras, as mesmas encontram barreiras para avançar no processo de modularização de produtos, como a estrutura de fábrica limitada, a falta de fornecedores capacitados e as dificuldades de modularizar produtos que já estão em linha.

Para os autores, há a necessidade de se criar evidências empíricas decorrentes da adoção da modularidade. Mediante ao exposto, é importante o uso de ferramentas para medir e avaliar os efeitos e implicações da modularidade nas empresas que empregam essa estratégia, permitindo assim, verificar se realmente os objetivos pretendidos estão sendo alcançados.

Este trabalho espera contribuir com esta lacuna. A contribuição será de ampliar o conhecimento de como a adoção da modularidade do produto (MD) influencia o ambiente produtivo e organizacional (OR). O modelo será uma diretriz para o desenvolvimento e implantação da estratégia modular além de dar sentido quantitativo para a pesquisa, atendendo à demanda posta pela academia.

O trabalho tem significância no campo prático, pois o modelo é testado em empresas que aplicam a estratégia modular. Pode ser utilizado como uma escala padrão que permita quantificar o nível de modularidade de uma empresa por meio da comparação entre as variáveis que constituem o modelo e as que são encontradas na prática.

Os indicadores medem a eficiência da modularidade nas áreas onde a mesma é aplicada e refletem os benefícios gerenciais e estratégicos para empresas que venham a adotar o conceito.

Para tanto, a questão norteadora da pesquisa que gerou esta tese foi: “A modularidade do produto (MD) se relaciona de forma positiva com áreas

estratégicas e operacionais, quais os efeitos e implicações nas operações e no processo decisório decorrentes desses relacionamentos e como os mesmos podem ser evidenciados e medidos? ”

### **1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo geral do presente trabalho é o desenvolvimento de um modelo de avaliação do nível de modularidade em organizações industriais, considerando as dimensões desenvolvimento de produto (PD), produção (PR) e organizacional (OR).

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- I. Propor um modelo, em forma de diagrama, construído a partir de elementos conceituais extraídos da literatura e que caracterizam as relações causais diretas entre as dimensões supracitadas;
- II. Aplicar a Modelagem de Equações Estruturais (SEM) para testar a validade ou não das hipóteses circunscritas no modelo;
- III. Propor indicadores que forneçam medidas quantitativas da eficiência da modularidade e que não são encontrados na literatura.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

De fato, investigar os efeitos da modularidade é primordial. As empresas estão buscando criar vantagem competitiva e sendo desafiadas pela baixa lucratividade, variantes limitadas de produtos, baixa flexibilidade do cliente final, concorrência de baixo custo, baixo ciclo de vida do modelo e diferenciação limitada da marca.

Nesse sentido, a estratégia modular torna-se a resposta clara, pois permite desenvolver e produzir com eficiência uma ampla variedade de marcas e modelos, manter uma rápida atualização de modelos que podem ser produzidos em pequenos lotes, melhorar o tempo de resposta às demandas, reduzir custos e, dessa forma, realizar a diferenciação da marca e acelerar a criação de valor.

Este trabalho pode ser analisado sob três perspectivas: justificativa, relevância e contribuição. A primeira perspectiva refere-se ao motivo deste trabalho, que pode ser justificado pela carência de estudos empíricos que evidenciem os resultados da adoção da estratégia modular. Muitos desses estudos contribuem para uma melhor compreensão dos efeitos baseados em avaliações subjetivas (qualitativas), que estão sujeitas a diferentes interpretações.

A segunda perspectiva refere-se à relevância deste trabalho, declarada pela proposta de desenvolver entendimento sobre a relação da modularidade do produto (MD) com áreas estratégicas e operacionais de empresas brasileiras. Para isso, um modelo é desenvolvido e validado por meio da Modelagem de Equações Estruturais (SEM) e testado em montadoras que utilizam a estratégia modular.

A terceira e última perspectiva refere-se à contribuição deste trabalho. O modelo tem aplicação prática pois pode ser utilizado como uma ferramenta para determinar o nível de modularidade de uma empresa. Isso ocorre comparando-se o estado atual das operações das empresas com o modelo construído a partir da teoria. Dessa forma, o modelo indica quais dimensões precisam ser aprimoradas para desenvolver e produzir produtos modulares.

O emprego dos indicadores é útil para apoiar à tomada de decisão e aprimorar a gestão das atividades operacionais, refletindo os benefícios gerenciais e estratégicos da modularidade para empresas que venham a adotar o conceito.

### **1.3. DELIMITAÇÕES DO ESCOPO DO TRABALHO**

Uma delimitação desse trabalho foi o tamanho da amostra obtido para realizar a validação do modelo, embora esteja de acordo com a metodologia proposta por (HAIR *et al.*, 2005). O foco foi em montadoras e fornecedores de primeira camada de 3 segmentos: automotivo, máquinas e equipamentos e eletrodomésticos. Faz-se necessário expandir a abrangência, incluindo pequenos fabricantes e fornecedores de camadas inferiores. Talvez os impactos da modularidade do produto (MD) nessas empresas tenham relevâncias diferentes.

Outra delimitação importante deste trabalho foi abordar apenas 3 áreas nas empresas (PD, PR e OR). Entende-se que envolver outras áreas ao estudo poderia trazer uma considerável perda de objetividade e assertividade. Abordar a relação produto-serviço nas empresas é um ponto a ser investigado. Neste sentido, qual o impacto da modularidade do produto (MD) em serviços? Qual a relação entre a modularidade do produto (MD) com a área de serviços?

Por fim, ampliar o teste prático do modelo em outras empresas para verificar se realmente ele pode ser utilizado como uma ferramenta para a implantação da estratégia modular.

### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Para atender aos objetivos pressupostos, este trabalho está organizado em cinco capítulos descritos a seguir.

O Capítulo 1 apresenta o problema, objetivos da tese e relevância da contribuição para preencher lacuna em vista de trabalhos já realizados. O Capítulo 1 faz um contexto do tema da pesquisa, apresenta novas tendências para estratégia modular em relação à Indústria 4.0 e à área de serviços, onde estudos ainda são incipientes. Além disso, são apresentados o problema, objetivos da tese e relevância da contribuição para preencher lacuna em vista de trabalhos já realizados, bem como as delimitações da pesquisa e a forma como foi estruturada.

O Capítulo 2 apresenta a Fundamentação Teórica dividida em quatro partes. A primeira apresenta a revisão de literatura realizada com restrição de data (2015-

2019) para identificar lacunas e oportunidades de pesquisa. A segunda parte aborda os conceitos centrais do trabalho (módulo, modularidade, modularização), conceitos que são impactados pela adoção da modularidade (plataforma de produto, arquitetura de produto, família de produtos). Apresenta os tipos de modularidade, destacando as relações causais entre a modularidade do produto (MD) com desenvolvimento de produtos (PD), produção (PR) e a nível organizacional (OR), destacando variáveis que influenciam ou são influenciadas por esses relacionamentos. Estes são os nucleadores teóricos considerados para o desenvolvimento do modelo proposto nesta tese. A terceira parte apresenta métodos e abordagens para a análise da modularização bem como o método estatístico utilizado para validar o modelo – SEM. A quarta parte da fundamentação teórica apresenta indicadores utilizados para medir a eficiência da modularidade e que podem estruturar o modelo.

O Capítulo 3, denominado Método de Pesquisa, descreve as etapas da pesquisa, discorre sobre a construção do modelo e a aplicação dos procedimentos estatísticos para a validação ou não das hipóteses. Para tanto, a SEM foi utilizada. O capítulo apresenta como serão aplicados os estudos de caso para confirmação do modelo. Este capítulo apresenta também uma *survey* e um estudo de caso realizados no campo prático. A *survey* pretende buscar o entendimento de como as empresas brasileiras visualizam a estratégia modular atualmente. O estudo de caso, aplicado em uma montadora, pretende identificar indicadores não citados na literatura, que evidenciam os efeitos da modularidade e que possam estruturar o modelo.

O Capítulo 4 apresenta, analisa e discute os resultados da validação do modelo, da aplicação dos estudos de caso e dos dados coletados em campo. A validação do modelo em campo promoveu o teste do modelo em 3 montadoras por meio de entrevistas e mapeamento no ambiente industrial.

O Capítulo 5 disserta sobre as conclusões do trabalho, com base nos objetivos, proposições, hipóteses e dados tratados pelo método de pesquisa. Dessas conclusões, destaca-se a importância do modelo proposto, que confirma estatisticamente uma correlação positiva entre MD e OR, bem como entre PD, PR e OR. A correlação entre MD e PD e MD e PR não são significativas quando

deveriam ser, devido a influência de multicolinearidade (quando as dimensões são altamente correlacionadas) (HAIR *et al.*, 2005). Aprofundar os estudos para analisar a relação entre as dimensões consideradas é uma das sugestões para estudos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo está dividido em quatro partes, conforme mostra a Figura 1.



FIGURA 1. SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



## 2.1. REVISÃO DA LITERATURA

É entendido que um aspecto central na pesquisa sobre modularidade é a avaliação de seus efeitos sobre a produtividade e eficiência das organizações. Insere-se nesse contexto, a capacidade de customizar em massa, a gestão da cadeia de suprimentos, inovação de produtos e a adaptação à Indústria 4.0, variedade de produtos, flexibilidade e padronização da produção.

Descritos abaixo, os estudos publicados no período entre 2015 e 2019 demonstram a necessidade de aprofundar as pesquisas e determinar evidências práticas e empíricas dos efeitos da modularidade, permitindo aprimorar o conhecimento prático e teórico sobre a aplicabilidade da estratégia modular.

Purohit *et al.* (2016) sugerem estudos empíricos para determinar a relação causal entre a MD e a modularidade da produção (MP) que, segundo os autores, são fatores-chave para uma organização alcançar a capacidade de customizar em massa.

No mesmo sentido, Tang *et al.* (2017) indicam que além da MD e da MP, a modularidade organizacional (MO) é um importante para a capacidade de customização em massa (CM) e sugerem estudos sobre os impactos da adoção dessa forma de modularidade na capacidade de customização em massa.

Akinc e Meredith (2015) citam a necessidade de investigar se a interação entre a MD, por meio da comunalidade de módulos, a MP por meio da padronização dos processos e a MO, com a simplificação da cadeia de suprimentos, podem agir positivamente na obtenção da customização em massa dos produtos.

Wang *et al.* (2017) afirmam que, dependendo do nível de modularidade, o projeto do produto apresenta variações no custo e implicações na receita final. Os autores sugerem identificar quais os limites dos benefícios da MD no desenvolvimento de soluções customizadas e como a complexidade de um produto impacta o ambiente industrial.

Para Wang *et al.* (2017), avaliar os efeitos da MD em empresas com produtos complexos ou ambientes com mercados competitivos, que podem exigir mais flexibilidade para implementar soluções personalizadas, além de relacionar os

efeitos da customização do produto tanto para o fornecedor como para o cliente final, são oportunidades de estudos futuros.

Pero *et al.* (2015) sustentam que a customização em massa conduz à integração da cadeia de suprimentos por meio da introdução de complexidade no produto, o que leva a um maior envolvimento de clientes e fornecedores. Os autores propõem estudos que analisem a relação entre a MD, o envolvimento dos fornecedores no desenvolvimento do produto e o nível de customização do produto.

No campo da inovação e da Indústria 4.0 estudos abordam o impacto da modularidade nos sistemas de inovação. A relação entre a MD, a capacidade de inovar e o desempenho organizacional são discutidos por vários autores.

Wang *et al.* (2016) citam a importância de investigar a relação entre a padronização de processos e a inovação com a capacidade de customizar em massa. O uso de indicadores para medir essa relação, como investimentos em pesquisa e desenvolvimento ou número de patentes, para avaliar o grau de inovação dos produtos, é proposto pelos autores.

Bouncken *et al.* (2015) apontam a necessidade de avaliar a interação entre a MD e a inovação em produtos, com o objetivo de determinar se essa relação impacta no desempenho competitivo de uma organização.

Helfat (2015) cita a padronização do produto, uma característica da MD, a disponibilidade de fornecedores competentes e a capacidade de produção como fatores contextuais na evolução da estrutura vertical das empresas. Segundo o mesmo autor, pesquisas futuras deveriam investigar os impactos da inovação sistêmica, que pode ser impulsionada pela MD e MP, na organização.

Yin *et al.*, (2018) estudaram sistemas de produção com foco nas relações entre a oferta de produtos modulares e a demanda do cliente. Os autores sugerem estudos para investigar como criar, gerenciar, operar e manter sistemas de produção no contexto da Indústria 4.0.

Para Silva *et al.* (2017), investigações empíricas com o objetivo de verificar o quanto a MD colabora com a modularização dos processos da Indústria 4.0 são importantes para que se evidenciem esses benefícios.

Em relação à cadeia de suprimentos, estudos abordam os impactos causados pela adoção da MD na capacidade de fornecimento dos integrantes da rede (sistemistas).

Caniato e Grobler (2015) propõem estudos sobre os efeitos da complexidade do produto (maior ou menor grau de modularidade) no desempenho do desenvolvimento de novos produtos e na gestão da cadeia de suprimentos.

Saghiri e Barnes (2016) investigaram a relação entre a flexibilidade do fornecedor e a implementação do adiamento da produção. Segundo os autores, estudos sobre facilitadores e barreiras de adiamento da produção são limitados a duas áreas e merecem investigações aprofundadas: (i) configurações de produto e / ou processo e suas considerações técnicas (por exemplo, modularidade) e (ii) atividades de cadeia principal de fornecimento, como fabricação, montagem, embalagem, rotulagem e entrega.

Vickery *et al.* (2015) investigaram por meio de medidas perceptuais se a complexidade do produto modular, medida como o número de componentes que compõem um todo, modera os relacionamentos com a MP e a introdução de novos produtos. Segundo os autores, a MD leva a um maior desempenho na introdução de novos produtos quando a complexidade é baixa; mas qualquer vantagem pode se desgastar rapidamente, porque pode ser relativamente fácil imitar produtos simples. Estudos futuros devem aplicar indicadores para mensurar os relacionamentos entre a MD, MP e o desempenho na introdução de novos produtos à luz das configurações da cadeia de suprimentos.

De todos os trabalhos pesquisados, destacam-se os que apontam as relações causais entre a MD, PD, PR e OR, bem como os elementos conceituais que suportam a possibilidade desses relacionamentos acontecerem.

Henriques e Miguel (2017) sugerem analisar empiricamente os efeitos da adoção dos elementos conceituais da MD sobre a MP. Segundo os autores, as barreiras para adoção da MD é um assunto que requer mais estudos.

Kubota *et al.* (2017) realizaram uma análise teórica dos relacionamentos entre a MD e a MP. Os autores destacam a necessidade de pesquisas sobre as implicações práticas dos relacionamentos entre os tipos de modularidade.

Piran *et al.* (2017) propõem como oportunidades de pesquisas futuras, análises que abordem os efeitos da modularidade em outros departamentos da empresa, como engenharia de produto e processos e análises comparativas entre empresas que usam e não usam a modularidade.

Wang *et al.* (2017) avaliaram sistemas de manufatura reconfiguráveis (RMS) e indicam a necessidade de combinar as condições reais de produção considerando fatores como o custo de produção e tamanho do lote, a fim de avaliar o desempenho de diferentes sistemas modulares de produção.

Na área de serviços, a contribuição é de ampliar o conhecimento de como a adoção da MD influencia o relacionamento com o cliente e a oferta de serviços.

Para Brax *et al.* (2017) uma questão potencial e relativamente nova sobre a modularidade em serviços (MS) é a de explorar as características da modularidade em um contexto que permita rápida e efetiva configuração de serviços complexos oferecidos por vários fornecedores em parceria com fabricantes de produtos modulares. Segundo os autores, a oferta de produtos e serviços modulares levaria a modularidade organizacional às redes de serviços.

Luna *et al.* (2017) utilizaram os princípios do MFD (Desenvolvimento de Função Modular - *Modular Function Deployment*) como forma de promover a modularidade no desenvolvimento de serviços, permitindo uma divisão do trabalho realizado entre os colaboradores que possuem mais habilidade para cada módulo identificado.

Afim de facilitar o entendimento, o Quadro 1 relaciona os autores e as oportunidades de pesquisas identificadas nos estudos analisados.

QUADRO 1. OPORTUNIDADES DE PESQUISA IDENTIFICADAS.

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM BASE NA REVISÃO DE LITERATURA.

Autores	Oportunidades de pesquisas
Purohit <i>et al.</i> (2016)	Realizar estudos empíricos para determinar as relações causais entre MD, a MP e a customização em massa.
Tang <i>et al.</i> (2017)	Analisar os impactos da MD, MP e da MO na capacidade de customização das empresas.
Akinc e Meredith (2015)	Investigar se a interação entre a comonalidade de módulos, a padronização de processos e a cadeia de suprimentos influenciam a customização em massa.
Wang <i>et al.</i> (2017)	Identificar os benefícios da MD no desenvolvimento de soluções customizadas e como a complexidade de um produto impacta o ambiente industrial.
Wang <i>et al.</i> (2017)	Avaliar a relação entre a MD e a flexibilidade das empresas para customização.
Wang <i>et al.</i> (2017)	Avaliar os efeitos da customização nos fornecedores e nas montadoras.
Wang <i>et al.</i> (2016)	Investigar a relação entre a padronização de processos e a inovação com a capacidade de customizar em massa e usar indicadores para medir esses relacionamentos.
Bouncken <i>et al.</i> (2015)	Avaliar a interação entre estruturas de produtos modulares e a inovação em produtos e se a estratégia da inovação impacta no desempenho competitivo de uma organização.
Helfat (2015)	Investigar os impactos da inovação, que pode ser impulsionada pela MD e MP, na organização.
Yin <i>et al.</i> (2018)	Investigar a gestão de sistemas de produção de produtos modulares no contexto da Indústria 4.0.
Caniato e Grobler (2015)	Investigar os efeitos da complexidade do produto (maior ou menor grau de modularidade) no desempenho do desenvolvimento de novos produtos e na gestão da cadeia de suprimentos.
Saghiri e Barnes (2016)	Investigar a relação entre a flexibilidade do fornecedor e a implementação do adiamento da produção na montadora.
Vickery <i>et al.</i> (2015)	Mensurar os relacionamentos entre a MD, MP e o desempenho na introdução de novos produtos.

QUADRO 1. OPORTUNIDADES DE PESQUISA IDENTIFICADAS. “CONTINUAÇÃO”

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM BASE NA REVISÃO DE LITERATURA.

Autores	Oportunidades de pesquisas
Henriques e Miguel (2017)	Analisar empiricamente os efeitos da adoção dos elementos conceituais da MD e da MP.
Kubota <i>et al.</i> (2017)	Analisar as implicações práticas dos relacionamentos entre MD, MP e MO.
Piran <i>et al.</i> (2017)	Identificar os efeitos da modularidade em outros departamentos da empresa, como engenharia de produto e processos e análises comparativas entre empresas que usam e não usam a modularidade.
Wang <i>et al.</i> (2017)	Avaliar o desempenho de diferentes sistemas modulares de produção considerando fatores como o custo de produção e tamanho do lote.

A revisão de literatura mostra a necessidade de aprofundar os estudos sobre os efeitos e as implicações resultantes da adoção da estratégia modular no ambiente industrial. Investigar e evidenciar de forma objetiva os resultados decorrentes da aplicação da MD sobre áreas estratégicas e operacionais.

Verificar se as empresas que adotam a MD, estendem o conceito para a produção e para a organização e se há vantagens neste procedimento (TANG *et al.*, 2017). Analisar a utilização da MD pelos fornecedores de montadoras no sentido de flexibilidade de fornecimento (SAGHIRI e BARNES, 2016) e de customização de produto (PERO *et al.*, 2015).

Determinar as relações entre a MD e a capacidade de customização em massa (PUROHIT *et al.*, 2016; TANG *et al.*, 2017; AKINC e MEREDITH, 2015). Investigar como ocorrem os relacionamentos entre outras tipologias de modularidade (HENRIQUES e MIGUEL, 2017; KUBOTA *et al.*, 2017; PIRAN *et al.*, 2017).

Determinar a conexão entre os elementos conceituais da MD com a produção e com o desenvolvimento de produtos e mensurar os resultados desses relacionamentos (CANIATO e GROBLER, 2015; VICKERY *et al.*, 2015). Investigar a aplicação da MD no ambiente da Indústria 4.0 (SILVA *et al.*, 2017; YIN *et al.*, 2018) é um tema novo e que oferece muitas oportunidades de pesquisa.

Conforme exposto, existem ainda muitas possibilidades de pesquisas em relação à modularidade. Investigar os efeitos e implicações decorrentes da adoção de MD em outras áreas, configura uma lacuna teórico-empírica.

Oportunidade certa é determinar as relações causais entre MD e áreas operacionais e estratégicas por meio de estudos práticos e objetivos, utilizando as próprias empresas como campo experimental. Há oportunidades para a aplicação de métodos quantitativos. Essas lacunas ficam ainda mais evidentes após a prospecção de trabalhos que utilizam métodos estatísticos mais robustos, como SEM.

Outro aspecto distinto abordado neste trabalho é a aplicação de indicadores utilizados para medir e evidenciar os resultados decorrentes da adoção da MD. Neste sentido, o uso de indicadores de forma objetiva, para medir efetivamente as consequências da adoção da MD no ambiente industrial e organizacional é um aspecto diferencial abordado neste trabalho.

Por fim, relevante justificativa para a realização deste trabalho é fazer com que o seu conteúdo e principalmente o seu resultado final – modelo para análise da modularidade – possam ser utilizados na prática pelas empresas que pretendam implementar a estratégia modular. No campo acadêmico, esta tese fornece uma abordagem como forma de aprimorar o conhecimento sobre a adoção da modularidade em ambiente industrial.

## **2.2. CONCEITOS**

Esta seção disserta sobre os conceitos centrais do trabalho (módulo, modularidade, modularização, plataforma de produto, arquitetura de produto, família de produtos), assim como os tipos de modularidade, os efeitos e implicações da adoção da MD sobre a produção (PR), o desenvolvimento de novos produtos (PD) e à níveis organizacionais (OR) e, os elementos conceituais da MD que suportam esses resultados.

### 2.2.1. Módulo, modularidade, modularização

Módulo é uma unidade funcional essencial e autocontida, componente de um produto. O produto modular possui interfaces padronizadas que permitem combinações para a composição de diferentes produtos. O número de produtos que podem ser desenvolvidos depende da quantidade de variantes dos módulos (ELGARD e MILLER, 1998; NUNES *et al.*, 2014).

Módulo é uma unidade independente, padrão e intercambiável (GALSWORTH, 1994), que pode ser facilmente montada e que se comporta de uma mesma maneira dentro de um sistema (BALDWIN e CLARK, 1997; RO *et al.*, 2007). Está ligado diretamente com a flexibilização de processos e a possibilidade de atender o maior número de clientes com produtos customizados. Do conceito de módulo derivam os termos modularidade e modularização (PELEGRINI, 2004). A Figura 2 sintetiza a evolução do conceito de módulo.

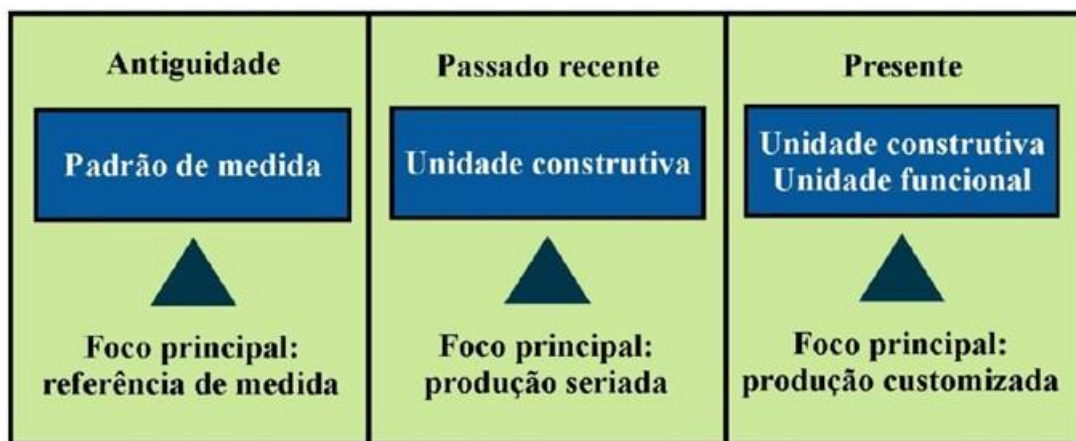


FIGURA 2. EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE MÓDULO.

FONTE: ADAPTADO DE ROSIN (2017).

A modularidade pode ser interpretada como uma propriedade, uma qualidade ou um atributo de um produto, de uma família de produtos ou de qualquer sistema que seja composto por diferentes tipos de módulos (PELEGRINI, 2004). Modularidade é um atributo de um sistema relacionado com a sua estrutura e funcionalidade.

Uma estrutura modular é uma estrutura que autocontém unidades funcionais (módulos) com interfaces padronizadas e interações definidas de acordo com o sistema (MILLER e ELGARD, 1998). A modularidade é um conceito geral de



sistema e grau de modularidade é um indicador de quanto os componentes do sistema podem ser separados ou recombinaados.

Todos os sistemas são caracterizados por algum grau de acoplamento entre componentes e em poucos sistemas os componentes são completamente inseparáveis e, não podem ser recombinaados. Dessa forma, o autor sustenta que quase todos os sistemas são, até certo ponto, modulares (SCHILLING, 2000).

A modularidade de um produto é uma propriedade de sua arquitetura. Um produto pode ser modular (com modularidade) ou integral (sem modularidade) (ULRICH e EPPINGER, 2012). Um produto não pode ser classificado como estritamente modular ou integral, mas pode ser categorizado relativamente a outros produtos, de acordo com o seu grau de modularidade (ULRICH, 1995).

Um produto tem alto grau de modularidade quando seus componentes podem ser desagregados e recombinaados numa nova configuração (possivelmente com alguns componentes substituídos) com nenhuma ou pequena perda de funcionalidade (SCHILLING, 2000). Um alto grau de modularidade se refere ao acoplamento mais livre entre os componentes e mais liberdade de misturar e combinar os componentes para o qual a arquitetura do sistema permite (CHOU e HUNG, 2008).

Para Sako e Murray (2000) e Nunes *et al.* (2014) a modularidade é um princípio de projeto, um atributo construtivo, relacionado à estrutura e funcionalidade, para alcançar múltiplos objetivos no desenvolvimento, produção e entrega de produtos complexos. Caridi *et al.* (2012) definem modularidade como uma propriedade que visa organizar produtos e processos complexos de forma eficiente.

A Figura 3 compara uma família de produtos integrais (não modularizados) com uma família de produtos modulares, nota-se que a arquitetura dos produtos integrais não contém módulos, gerando pouca variedade, enquanto uma arquitetura de produto modular permite obter grande variedade (ROSIN, 2017).

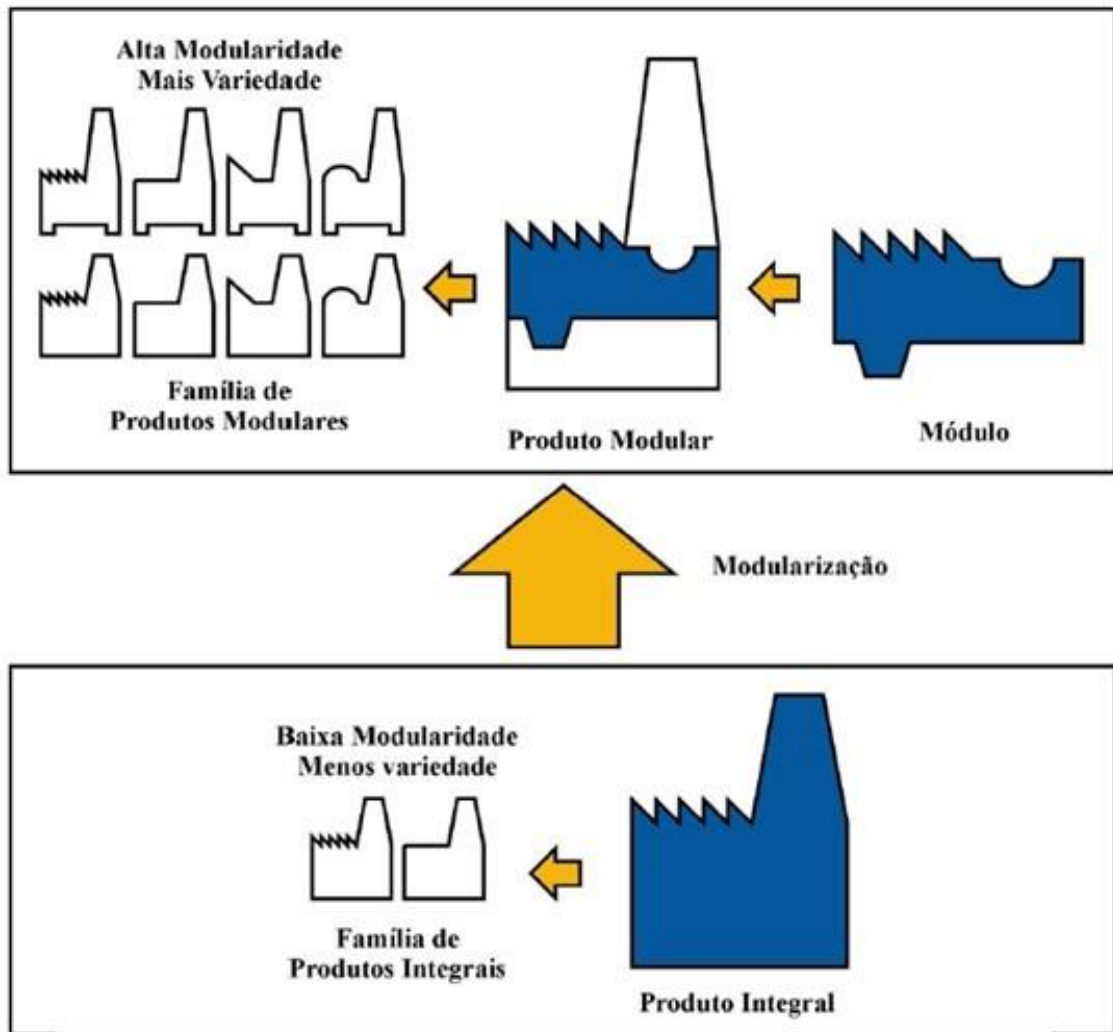


FIGURA 3. COMPARAÇÃO ENTRE PRODUTOS INTEGRAIS E MODULARIZADOS.

FONTE: ADAPTADO DE ROSIN (2017).

Para Baldwin e Clark (2004), a modularidade facilita o gerenciamento de portfólio de produtos e de processos complexos. Por meio da divisão em módulos mais simples, possibilita atividades de produção em paralelo, já que os módulos podem ser manufaturados simultaneamente. Estes autores sugerem que a modularidade capacita que a produção se adapte às incertezas futuras.

O produto final pode ser modificado por arranjo de seus módulos. Esta capacidade de adaptação torna o custo de desenvolvimento de produtos mais baixo do que refazer o produto por completo. Modularidade é um dos pilares da Manufatura Avançada, sendo considerada estratégica para diversos setores industriais, tanto na configuração produtiva industrial quanto no desenvolvimento de produtos.

Sua principal vantagem é o balanceamento da produção, já que consegue evitar gargalos.

A modularização é o ato de estruturar os módulos (ELGARD e MILLER, 1998). Nunes *et al.* (2014) veem a modularização como uma estratégia das organizações para gestão da variedade de produtos e variabilidade dos processos. A modularização é uma técnica utilizada para o desenvolvimento de produtos complexos, utilizando-se de componentes similares (KAMRANI e SALHIEH, 2010).

A modularização de produtos e sistemas é uma estratégia para lidar com o aumento da complexidade no processo de desenvolvimento, com rapidez de mudança para atender a requisitos dos clientes, incorporando continuamente novas ou melhoradas tecnologias (TSUKUNE *et al.*, 1993). A Figura 4 ilustra cinco abordagens de modularização de produtos focando a interação entre os módulos e a estrutura funcional.

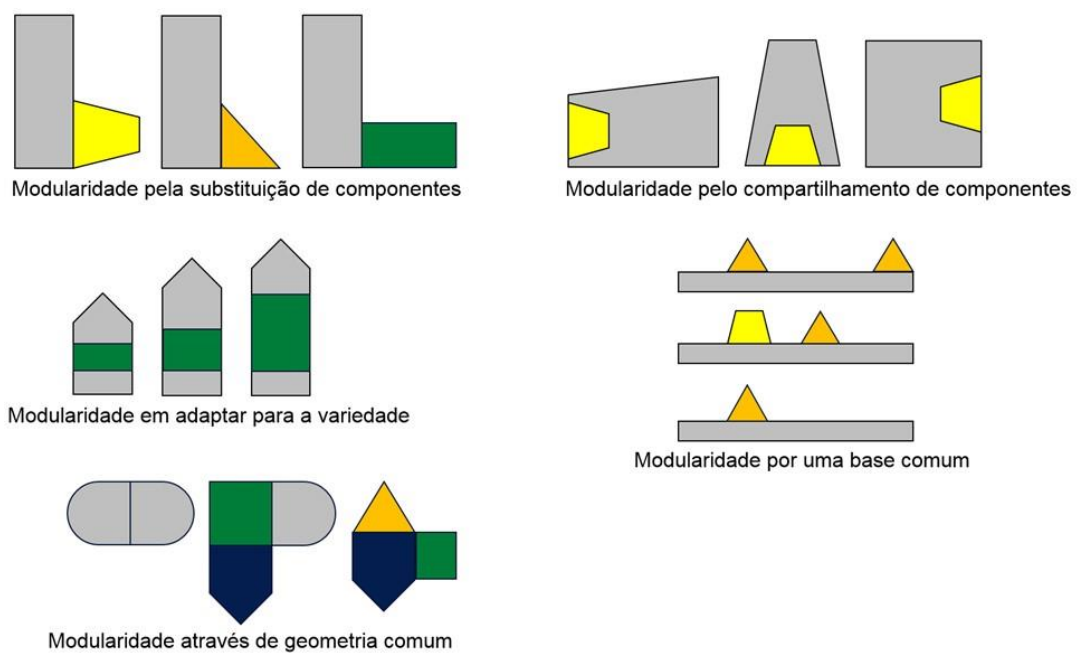


FIGURA 4. CINCO ABORDAGENS DE MODULARIZAÇÃO.

FONTE: ADAPTADO DE MULLER E ELGARD (1998).

### **2.2.2. Família de produtos, plataforma de produto e arquitetura modular**

Associados aos conceitos da modularidade e modularização são os conceitos de família de produtos, plataforma de produto e arquitetura modular.

Um produto é descrito em termos funcionais ou físicos. Os elementos funcionais executam operações ou transformações e contribuem para o desempenho global do produto. Os elementos físicos são as peças, componentes e subconjuntos organizados em blocos funcionais. O estudo das interações entre esses blocos e o seu arranjo físico, constituído a configuração do produto, é a arquitetura do produto (BAXTER, 2011).

Família de produtos é um conjunto de produtos relacionados e derivados de uma plataforma comum para atingir alta variedade externa com o mínimo de variedade interna (DU *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2006). Família de produtos é um conjunto de produtos formados por peças que se repetem de um produto para o outro, sendo que a peça presente em todas as variantes é a plataforma de produto (SONEGO e ECHEVESTE, 2015).

Plataforma de produto é a base técnica para acomodar a customização em massa e para o gerenciamento da variedade de produtos, servindo de repertório de bases de conhecimento para diferentes produtos (DU *et al.*, 2001). Plataforma de produto é um conjunto de elementos (subconjuntos, componentes, etc.) que formam o núcleo de uma família de produtos com suas diversas combinações. Desta forma, a empresa consegue lançar diversos produtos distintos entre si do ponto de vista do cliente, reutilizando de maneira sistemática partes de produtos existentes (ROZENFELD *et al.*, 2003).

Atualmente, a plataforma de um produto não é uma solução engessada e imutável. Tomando como exemplo a indústria automotiva, a definição atual de plataforma muitas vezes não se limita apenas ao chassi monobloco. Trata-se de um conjunto de soluções mecânicas que envolvem também os pontos de fixação de vários outros conjuntos mecânicos, como motor e câmbio, suspensões ou freios.

Um bom exemplo disso é a plataforma modular MQB (Matriz Transversal Modular - *Modular Transverse Matrix*), do Grupo Volkswagen. Em cima dela, são produzidos dez modelos diferentes. No entanto, apesar de o entre eixos ser alterável, há

algumas medidas que não mudam, como a distância entre o eixo dianteiro e a ancoragem dos pedais. Essa variabilidade da plataforma permite uma grande redução de custos na escala de produção de uma linha de veículos, já que eles poderão compartilhar entre si vários componentes mecânicos.

Arquitetura do produto é um sistema em que os componentes físicos estão associados a elementos funcionais e combinados por meio de interfaces padronizadas para formar produtos diferentes (ULRICH, 1995). O objetivo da arquitetura modular é estabelecer um padrão de interface, de modo que os componentes possam ser alterados e substituídos, sem que seja necessário alterar a estrutura do produto (SANCHEZ, 1999).

Em uma arquitetura modular, um módulo desempenha apenas uma ou algumas funções principais do produto final, enquanto que em uma estrutura integral a funcionalidade encontra-se espalhada por todo o produto (MILLER e ELGARD, 1998).

As interfaces descrevem em detalhes a interação entre os módulos, sua conexão e comunicação. Elas permitem a substituição dos módulos entre famílias de produtos (MIKKOLA e GASSMANN, 2003). Quando bem projetadas, facilitam a desmontagem e remontagem, contribuindo para a reconfiguração rápida do produto (SELIGER *et al.*, 2006). A padronização de interfaces em arquiteturas modulares pode gerar maior flexibilidade e conectividade entre organizações e que a arquitetura de produto serve como uma “alavancagem” para terceirização (SANCHEZ e MAHONEY, 1996).

Na Figura 5 são apresentados os conceitos discutidos nesta seção. O módulo é a peça que, unida a outras peças, forma o produto. Uma família de produtos é um conjunto de produtos formado de peças que se repetem de um produto para o outro, sendo que a peça presente em todas as variações é a plataforma de produto (SONEGO e ECHEVESTE, 2015).

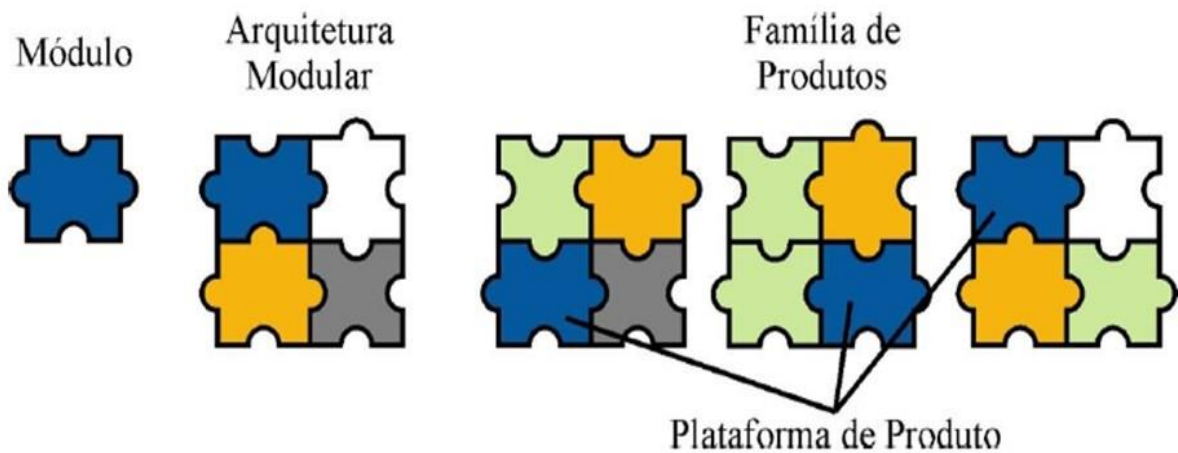


FIGURA 5. CONCEITOS RELACIONADOS À MODULARIDADE.

FONTE: SONEGO E ECHEVESTE (2015).

### 2.2.3. Tipos de modularidade

Alguns estudos propõem uma taxonomia de modularidade de três classes: modularidade em projeto; modularidade na produção; e modularidade em uso (PANDREMENOS *et al.*, 2009; BASK *et al.*, 2010). Esta taxonomia é expandida com os termos: modularidade organizacional (CHENG, 2011; KUMAR, 2013) e modularidade em serviços (MS) (BASK *et al.*, 2010; GEUM *et al.*, 2012).

Em seguida, os conceitos relacionados à MD, MP e MO, que são objetos de estudo deste trabalho, serão apresentados. A abordagem dos tipos de modularidade nesta tese é necessária devido às afirmações que a adoção da MD conduz à MP e MO.

### 2.2.4. Modularidade do produto ou do projeto do produto (MD)

A MD está relacionada ao desenvolvimento de subconjuntos (módulos) com funções específicas e com interfaces padronizadas, de modo que sejam independentes mas trabalhem no produto de forma interdependente (BALDWIN e CLARK, 1997; SAKO e MURRAY, 2000; BALDWIN e CLARK, 2003). Produtos modulares são resultado da combinação de diferentes módulos (SCAVARDA *et al.*, 2010).

O conceito genérico de produto modular está associado à capacidade de criar uma variedade de produtos. Esta capacidade é um conceito-chave para a customização

em massa. O desenvolvimento da variedade de produtos reduz a complexidade na linha de montagem principal, porém aumenta a quantidade de sub-montagens e, portanto, precisa ser gerido de forma eficiente. A MD reduz os custos de estoque e de logística e proporciona flexibilidade para a reutilização de componentes (JOSE e TOLLENAERE, 2005).

De Mello e Marx (2007) sugerem que a MD possibilita o aumento da parceria entre a empresa com seus fornecedores de módulos por meio do co-desenvolvimento e co-produção. Veloso e Fixson (2001) apontam como vantagens da MD, a redução no tempo e no custo de desenvolvimento do produto, redução na complexidade do produto, maior aprendizado entre os projetos e maior confiabilidade do produto. Como desvantagem, os autores apontam a dificuldade de implementar a MD, quando é alta a complexidade de plataforma do produto.

Algumas publicações trazem uma perspectiva de definição sobre a MD fundamentada em conceitos, por exemplo, a existência de interfaces compatíveis para conexão dos módulos (compatibilidade), a possibilidade de combinação de diferentes módulos para gerar variedade de produtos (substituibilidade) e a possibilidade de particionamento de um sistema em unidades menores (independência). Isso é tratado nos trabalhos sintetizados de (MIKKOLA e GASSMANN, 2003; MIKKOLA e SKJOTT-LARSEN, 2006; SALVADOR, 2007; HSUAN e HANSEN, 2007; HENRIQUES e MIGUEL, 2017; KUBOTA *et al.*, 2017).

O Quadro 2 mostra os conceitos associados à dimensão MD seguidos de uma descrição e dos autores que contribuíram com cada conceito em seus respectivos trabalhos. A MD relaciona-se com as dimensões, desenvolvimento de produtos (PD), produção (PR) e organização (OR), fazendo com que essas dimensões apresentem elementos conceituais que caracterizam esses relacionamentos. Esses conceitos foram utilizados na construção do modelo proposto neste trabalho.

QUADRO 2. CONCEITOS ASSOCIADOS À MD

FONTE: AUTOR (2019). ADAPTADO DA LITERATURA.

Conceito de MD	Descrição do conceito	Autores
Padronização	Possibilita a recombinação de componentes em produtos sem uma adaptação elaborada de interfaces.	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Baldwin e Clark (1997) Mikkola (2006) Jacobs <i>et al.</i> (2007) Argyres e Bigelow (2010) Brusoni e Prencipe (2011)
Variedade de Produtos	Combinação de diferentes módulos em uma plataforma de produtos. Oferta de variedade de produtos que a empresa disponibiliza no mercado. Quanto maior a variedade, maior a possibilidade de oferecer diversidade de produtos diferenciados e customizados ao cliente.	Starr (1965) Sako e Murray (2000) Chen e Liu (2005) Cardoso e Kistmann (2008) Liu <i>et al.</i> (2010) Rahikka <i>et al.</i> (2011) Huang <i>et al.</i> , (2007) Carnevalli <i>et al.</i> (2013) MacDuffie (2013) Patel e Jayaram (2014)
Customização	Consiste no nível em que o produto pode ser customizado, ou seja, o quanto pode ser ajustado e/ou combinado conforme as necessidades e expectativas do cliente.	Bask <i>et al.</i> (2011) Stablein <i>et al.</i> (2011) Tuunanen e Cassab (2011)
Comonalidade	Refere-se a módulos e componentes comuns a diversos produtos. Intercambialidade de módulos entre famílias de produtos.	Yigit <i>et al.</i> (2002) Salvador (2007) Liu <i>et al.</i> (2010) Jacobs <i>et al.</i> (2011) Stablein <i>et al.</i> (2011)
Arquitetura de produto	Descreve o produto em termos de suas funções. É uma estratégia para lidar com desenvolvimento e fabricação ágil de novos produtos.	Scavarda <i>et al.</i> (2005) Hsuan e Hansen (2007) Ro <i>et al.</i> (2007)



QUADRO 2. CONCEITOS ASSOCIADOS À MD. “CONTINUAÇÃO”

FONTE: AUTOR (2019). ADAPTADO DA LITERATURA.

Conceito de MD	Descrição do conceito	Autores
Reutilização	Trata da possibilidade de aproveitamento (ou atualização) de módulos conforme o lançamento de novas versões de um produto.	Garud e Kumaraswamy (1996) Krikke <i>et al.</i> (2004) Hsuan e Hansen (2007) Tuunanen e Cassab (2011) Geum <i>et al.</i> (2012) Ji <i>et al.</i> (2013)
Funcionalidade	Trata da habilidade ou capacidade de desempenhar uma determinada tarefa ou função. Módulos/componentes de um produto podem desempenhar uma ou mais funcionalidades, conforme o projeto do produto.	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Sushandoyo <i>et al.</i> (2010) Tyagi <i>et al.</i> (2012) Tsvetkova e Gustafsson (2012)
Interdependência entre módulos	Trata do grau de independência estrutural dos módulos. Quanto maior a interdependência, maior autonomia e capacidade de acoplamento e desacoplamento os módulos possuem, sem deixar de funcionar em conjunto como um todo.	Geum <i>et al.</i> (2012) Zirpoli e Becker (2011)
Agilidade e Flexibilidade	Desenvolvimento ágil de novos produtos e a rápida inclusão de novos módulos reutilizáveis para atender às mudanças nos requisitos do produto.	Chen e Liu (2005) Fredriksson e Gadde (2005) Hoetker (2006) Asan <i>et al.</i> (2008) Bask <i>et al.</i> (2011) Cheng (2011)
Substituição	Existência de diferentes modelos de um mesmo módulo, a combinação de diferentes módulos resulta em variabilidade para um modelo.	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Mikkola e Gassmann (2003) Hsuan e Hansen (2007)

### **2.2.5. Modularidade na produção ou em processos (MP)**

A MP incorpora a ideia de uma rede dinâmica de módulos de produção relativamente independentes/autônomos que podem ser rapidamente reconfigurados para sustentar e acelerar o lançamento de novos produtos no mercado (JACOBS *et al.*, 2011). Para Ulrich (1995) a produção eficiente de um portfólio diversificado de produtos é frequentemente atribuída à flexibilidade da manufatura.

GEUM *et al.* (2012) citam a possibilidade de aproveitamento ou atualização de módulos (reuso) conforme o lançamento de novas versões de um produto, como a utilização da mesma carroceria para diferentes modelos de automóveis. A influência desse aproveitamento de módulos sob o processo de fabricação reflete em redução do lead-time de fabricação e redução de investimentos.

A MP é uma habilidade de combinar um número de componentes em módulos, resultando em variedade de produtos finais. Uma vantagem é que estas combinações podem ser pré-montadas fora da linha de montagem principal. Posteriormente, estas partes pré-montadas são transportadas para a linha de montagem principal e integradas, resultando no produto final (JACOBS *et al.*, 2011; VIERO e NUNES, 2015).

Além da simplificação dos processos de fabricação e de montagem, a MP permite que tarefas complexas e ergonomicamente difíceis sejam transferidas para fornecedores (ARNHEITER e HARREN, 2005; SAKO e MURRAY, 2000). Desse modo, a MP induz à terceirização, provocando a reconfiguração da cadeia de suprimentos (SALVADOR *et al.*, 2002).

A Figura 6 mostra um conceito da MP, onde a linha de montagem principal recebe os módulos de processos intermediários (sub-montagens) que podem ou não serem terceirizados.

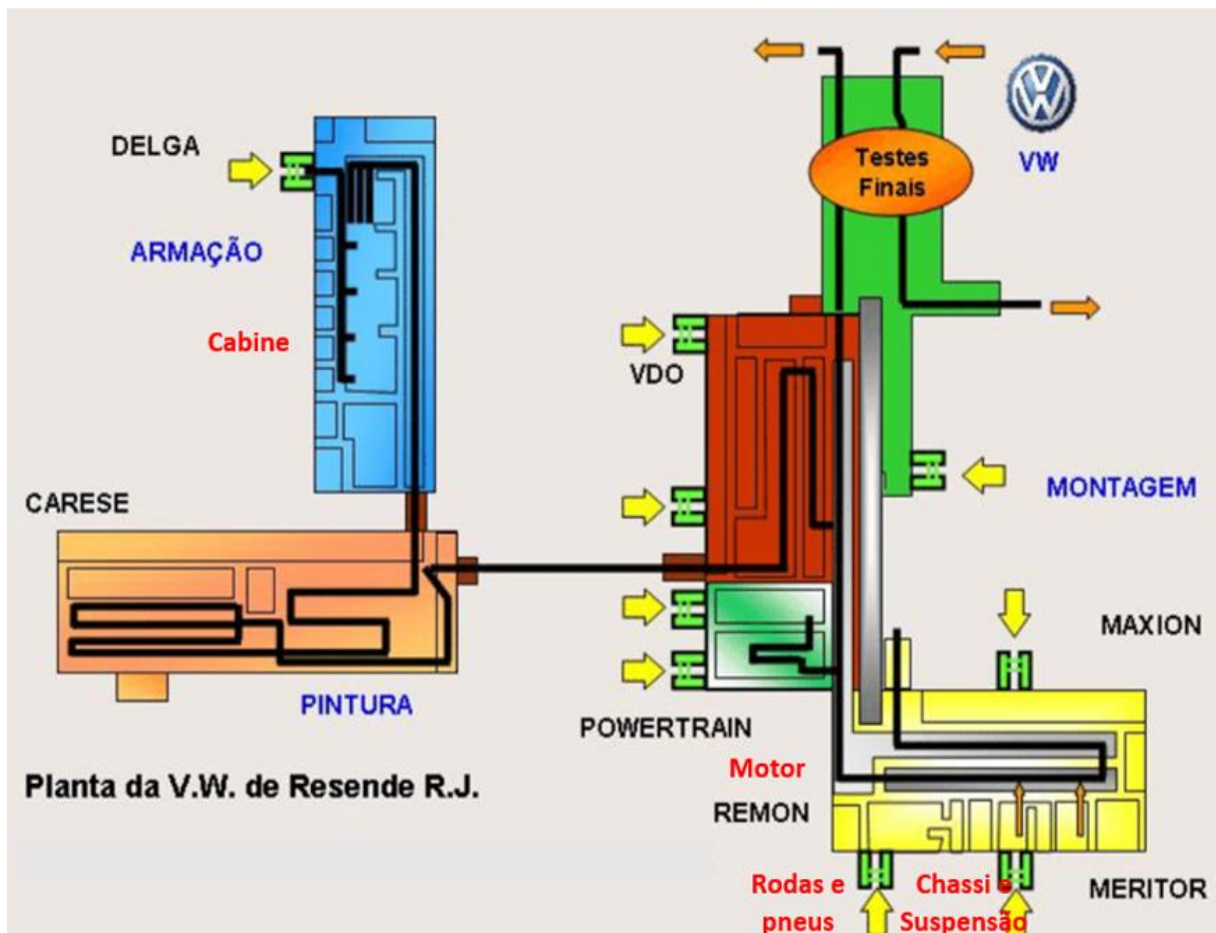


FIGURA 6. CONSÓRCIO MODULAR DA VOLKSWAGEN CAMINHÕES.

FONTE: ADAPTADO DE BUENO ET AL. (2015).

### 2.2.6. Modularidade organizacional ou em processos organizacionais (MO)

O objetivo da MO é reduzir a complexidade das atividades, envolvendo a gestão da empresa ou a cadeia produtiva. A MO trata, além de entender como as empresas participam em diferentes setores industriais quando internaliza a produção de módulos antes não de sua responsabilidade, mas também, quando terceiriza atividades antes internalizadas. Neste último caso, a empresa tem necessidade de capacitar-se para desenvolver relacionamentos com parceiros contratados e de gerenciar novos modelos de negócios.

A MO traz benefícios como a sistematização e simplificação de atividades e tarefas que envolvem múltiplas organizações (TSVETSKOVA e GUSTAFSSON, 2012).

Sako e Murray (2000) afirmam que a estrutura organizacional existente para o desenvolvimento de novos produtos e a natureza dos relacionamentos com

fornecedores afetam as possíveis escolhas relacionadas à nova arquitetura de produtos.

Segundo Baldwin e Clark (2003) as empresas devem redesenhar sua estrutura organizacional com o objetivo estratégico de obter flexibilidade para entrar em novos mercados ou explorar desenvolvimentos tecnológicos.

Produtos modulares podem facilitar a reconfiguração organizacional das empresas (HOETKER, 2006). A modularidade em relação aos processos organizacionais é associada às estruturas de governança e procedimentos de contratação de terceiros, adotados para acomodar a produção modular no contexto interno à empresa ou entre empresas (CAMUFFO, 2004).

A Figura 7 ilustra um dos conceitos de uma organização modular, onde fornecedor projeta e monta sub-conjuntos para fornecer à montadora final. Em muitos casos, o projeto do módulo pertence à montadora que desenvolve o fornecedor para produzir o sub-conjunto. Neste caso ocorre a troca de conhecimento e a especialização do fornecedor.

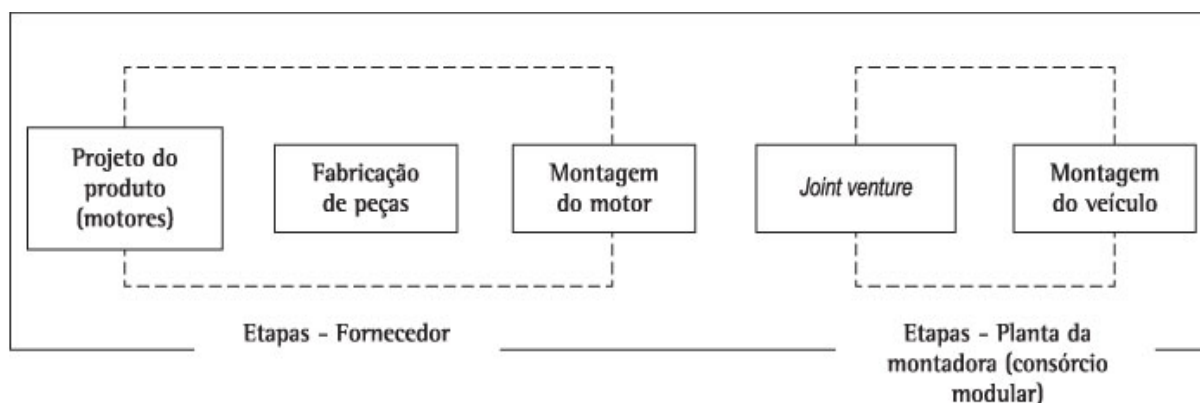


FIGURA 7. DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO FORNECIMENTO DE MOTORES.

FONTE: RODRIGUES ET AL. (2012).

## **2.3. EFEITOS DA APLICAÇÃO DA MD NO AMBIENTE INDUSTRIAL**

Esta etapa da revisão de literatura determinou os elementos conceituais (variáveis dependentes) resultantes do emprego da estratégia modular na produção e na organização. Esses elementos conceituais serão utilizados na construção do modelo proposto neste trabalho.

### **2.3.1. Efeitos da MD na produção (PR)**

O aumento da variedade de produtos reforça a adoção de produção modular (STARR, 1965; LIU *et al.*, 2010; SHAMSUZZOHA *et al.*, 2010; BRUSONI e PRENCIPE, 2011; PATEL e JAYARAM, 2014).

Alguns trabalhos, como Gu e Sosale (1999) e Shamsuzzoha *et al.* (2010) comentam que os módulos podem ser fabricados de forma independente, viabilizando a terceirização e reduzindo o tempo de desenvolvimento do produto. Os benefícios do uso da modularidade estão relacionados com a terceirização de atividades para o fornecedor, propiciando entre outras vantagens, a transferência de custos fixos.

Sobre os benefícios da MD nos processos de fabricação, Brusoni *et al.* (2007) afirmam que a MD aumenta a possibilidade de automação, devido à padronização dos módulos e componentes. Aliada à automação dos processos, a MD pode proporcionar aumento da produtividade e da eficiência operacional em função da redução de operações internas.

Chen e Liu (2005) destacam a flexibilidade na produção com adoção de produto modular, pois os módulos podem ser montados em diferentes configurações de linha de montagem. A MP demanda uma reestruturação das linhas de produção, de forma a simplificar a construção do produto, por meio de pré-montagens e pré-testes funcionais dos módulos (PARENTE *et al.*, 2011).

A padronização, uma característica da MD, favorece o redesenho do processo de produção, minimizando a sua variabilidade e agilizando a inclusão de novos módulos para atender às mudanças nos requisitos do produto (MIKKOLA e SKJOTT-LARSEN, 2004; JACOBS *et al.*, 2007). Rodrigues *et al.* (2012) sugerem que, a partir de um produto existente, não necessariamente modularizado, é

possível montar seus componentes formando subconjuntos em uma lógica modular.

Para Carnevalli *et al.* (2013) a MD reduz os investimentos em dispositivos e ferramentas e a complexidade das operações de produção, devido a possibilidade de uso de mesmos dispositivos para montagem.

Alguns estudos abordam benefícios estratégicos da MD na produção. Asan *et al.* (2008) sugerem que a construção de produtos complexos a partir de módulos, que podem ser projetados de forma independente, deve aumentar a flexibilidade da empresa (produção, vendas) para responder a ambientes incertos. Os autores retratam também a possibilidade da postergação ou adiamento da produção, características de produção flexível.

Argyres e Bigelow (2010) comentam que a MD está associada à desintegração vertical devido à padronização de componentes. Empresas que vendem em segmentos de mercado com alta concorrência, tendem a diferenciar seus produtos, incorporando componentes exclusivos com interfaces menos modulares e por isso são mais integradas.

Quando os fornecedores são envolvidos nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos modulares e dos processos de fabricação dos módulos e componentes, há aumento nos índices de sucesso de um projeto (SALERNO *et al.*, 2008; ZHU *et al.*, 2014). Lau *et al.* (2011) sustentam que o co-desenvolvimento, aliado à inovação, conduz a um melhor desempenho do produto modular.

Outro ponto a ser considerado de fundamental importância é customização do produto pós-produção. Neste sentido, Scavarda *et al.* (2005) comentam que a MD possibilita a personalização do produto com pacote de opcionais, o que já vem sendo praticado pelas concessionárias na indústria automotiva.

O Quadro 3 apresenta os efeitos na produção decorrentes da adoção da MD, seguidos de uma descrição e dos autores que abordaram o tema em seus respectivos trabalhos.

QUADRO 3. EFEITOS DA ESTRATÉGIA MODULAR NA PRODUÇÃO.

Efeito MD-> PR	Descrição do conceito	Autores
Flexibilidade	Ter a mesma linha de montagem atendendo a dois produtos diferentes ao mesmo tempo. Os módulos podem ser montados em diferentes configurações de linha de montagem (sub-montagens).	Chen e Liu (2005) Ulrich (1995) Sako e Murray (2000)
Padronização	Padronização dos postos de trabalho. Possibilidade de utilizar mesmos dispositivos e equipamentos. Redução de custos de manutenção (peças de reposição). Padronização das montagens (simplificação).	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Brusoni e Prencipe (2011)
Terceirização	Fabricação independente dos módulos. Redução da complexidade na linha de montagem final. Aumento das sub-montagens.	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Sanchez e Mahoney (1996) Gu e Sosale (1999) Brusoni <i>et al.</i> (2007) Shamsuzzoha <i>et al.</i> (2010) Carnevalli <i>et al.</i> (2013)
Agilidade	Agilidade na introdução de novos modelos devido à padronização dos processos de montagem. Agilidade na montagem devido aos módulos prontos.	Jacobs <i>et al.</i> (2011)
Postergação	Configuração tardia da produção possibilitando a configuração dos produtos padronizados em uma ampla variedade de produtos finais.	Murtaza <i>et al.</i> (1993) Tuunanen e Cassab,(2011)
Automação	Devido à padronização de componentes, módulos e interfaces de montagem e pela simplificação dos processos.	Brusoni <i>et al.</i> (2007) Jacobs <i>et al.</i> (2007)

### **2.3.2. Efeitos da MD na organização (OR)**

De acordo com Sanchez (1999), o conhecimento organizacional adquirido no desenvolvimento de produtos modulares permite que as empresas reduzam o tempo de desenvolvimento e criem produtos tecnologicamente aprimorados a custos reduzidos.

Para Morris *et al.* (2004), Rachid *et al.* (2006), Sacomano e Truzzi (2009) a modularização leva a novos relacionamentos organizacionais e sociais entre as empresas. Estas relações são caracterizadas por elevado nível de transferência de conhecimentos técnicos e gerenciais entre a montadora e os seus fornecedores.

Sobre a relação da MD com a estrutura das organizações, Hoetker (2006) e Cheng (2011) sugerem que quanto maior o nível de modularidade dos produtos, maior deve ser reconfiguração das organizações. Esta reconfiguração visa ter-se agilidade e flexibilidade e promover a terceirização de atividades antes internalizadas.

Ro *et al.* (2007) afirmam que a implementação de uma arquitetura de produto modular está condicionada ao desenvolvimento de capacidades organizacionais, como gestão de relacionamento na cadeia de suprimentos, quando ocorre a terceirização de atividades pela capacidade interna de produção ser limitada para a fabricação de componentes modulares.

Para Mc Dermott *et al.* (2013), a MD influencia a estrutura organizacional dos fornecedores de primeira e segunda nível. Essas empresas podem tirar proveito do projeto modular, explorando plataformas comuns e padronizadas que permitem o compartilhamento de componentes (co-produção).

Neste sentido, Doran (2003) afirmam que fornecedores mais capacitados passam de meros fabricantes de peças para assumir uma posição de liderança no desenvolvimento de módulos complexos para os produtos (geralmente sistemas inteiros). Estes produtos podem passar a ser de patente do fornecedor, com a montadora tendo pouca ingerência sobre o seu desenvolvimento.

Sobre a fornecedores e terceirização, Zirpoli e Becker (2011) e Cabigiosu *et al.* (2013) sugerem que a MD pode influenciar decisões sobre substituição de fornecedores sem capacidade para atender aos requisitos do produto modular. Isto



propicia a internalização da produção ou desenvolvimento de novos fornecedores. Fredriksson e Gadde (2005) relatam que em alguns casos, os fornecedores subordinam-se a coordenação da montadora precisando de maior interação para atender às premissas de flexibilidade no atendimento à sua demanda a custos razoáveis.

O Quadro 4 apresenta os efeitos da MD na organização (OR), seguidos de uma descrição e dos autores que abordaram o tema em seus respectivos trabalhos.

QUADRO 4. EFEITOS DA ESTRATÉGIA MODULAR ORGANIZAÇÃO (OR).

Efeito MD-> OR	Descrição do conceito	Autores
Co-produção	Incentiva a transferência do conhecimento entre os sistemistas. Pode gerar o compartilhamento de peças e componentes entre as empresas reduzindo custos e influenciando a estrutura organizacional (lay-out, área de estoque, linhas de montagem, etc.)	Staudenmayer <i>et al.</i> (2005) Mc Dermott <i>et al.</i> (2013) Sacomano e Truzzi (2009)
Co-desenvolvimento	É um fator no processo de gestão do desenvolvimento de produtos. O envolvimento dos fornecedores no projeto do produto melhora a transferência de conhecimento com os mesmos e aumenta os índices de sucesso de um projeto.	Segismundo e Miguel (2014) Zhu <i>et al.</i> (2014)
Terceirização	Aprimora o controle de qualidade sobre o desempenho dos componentes. Permite a substituição de fornecedores que não tenham capacidade de produzir os módulos. Altera a estrutura da empresa, simplifica os processos.	Zirpoli e Becker (2011) Cabigiosu <i>et al.</i> (2013)
Agilidade e Flexibilidade	Quanto mais modular um produto, maior a capacidade da empresa em mover suas atividades para fora da hierarquia. A MD permite que as empresas reconfigurem suas organizações (outras plantas, unidades de negócio, sistemistas.)	Muffato (1999) Doran (2003) Morris <i>et al.</i> (2004) Doran <i>et al.</i> (2007) Nahmens e Bindroo (2011) Hoetker (2006)

#### **2.4. MÉTODOS E ABORDAGENS PARA A MODULARIZAÇÃO**

O objetivo desta fase da pesquisa foi promover o conhecimento de métodos e abordagens de pesquisa para o desenvolvimento da modularidade e da modularização.

Dos artigos estudados, muitos resultaram de métodos de pesquisas como o estudo de caso e a *survey* para a análise da modularização, ou utilizaram dessas técnicas para validar modelos conceituais. Neste trabalho foram utilizados a *survey* para obtenção de dados para o modelo proposto, validado por procedimentos estatísticos e o estudo de caso, aplicado em montadoras para testar a aplicabilidade do modelo.

O Quadro 5 mostra os trabalhos pesquisados que aplicaram o estudo de caso, a *survey* e os trabalhos que desenvolveram modelos conceituais. Na sequência, uma síntese dos trabalhos realizados é apresentada.

QUADRO 5. TRABALHOS QUE APLICARAM ESTUDO DE CASO, SURVEY E DESENVOLVERAM MODELOS CONCEITUAIS PARA O ESTUDO DA MODULARIDADE.

Métodos	Definição e Objetivo	Autores
Estudo de caso	Estudo de caso constitui uma estratégia de pesquisa que não pode ser classificada a priori como qualitativa nem quantitativa, por excelência, mas que está interessada no fenômeno. O estudo de caso requer múltiplos métodos e fontes para explorar, descrever e explicar um fenômeno em seu contexto.	Langlois e Robertson (1991) Muffatto e Roveda (2002) Doran (2003) Salvador <i>et al.</i> (2004) Fredriksson (2006) Doran <i>et al.</i> (2007) Sacomano e Truzzi (2009) Pires e Sacomano (2010) Pero <i>et al.</i> (2010) Lau (2011) Paralikas <i>et al.</i> (2011) Dos Santos e Forcellini (2012) Zhang <i>et al.</i> (2014)
Survey	O objetivo da pesquisa <i>survey</i> é a obtenção de informações quantitativas sobre um determinado grupo de pessoas. A <i>survey</i> é mais indicada quando se deseja responder questões que expressem opiniões, costumes ou características de um determinado público-alvo.	Jacobs <i>et al.</i> (2007) Ettlie e Kubarek (2008) Bush <i>et al.</i> (2010) Caridi <i>et al.</i> (2012) Gualandris e Kalchschmidt (2013)
Modelo conceitual	Modelo teórico conceitual é parcial e aproximativo, pois somente os elementos do trabalho científico, como a observação, a intuição e a razão, não permitem o conhecimento do real, mas o método da modelagem e da sua comprovação apresenta um bom resultado no conhecimento da realidade. É um conjunto de suposições baseadas no mundo real que indicarão as regras de negócio de um sistema. Esta etapa independe da escolha de tecnologias e protótipos ajudam no entendimento dos processos.	Ernst e Kamrad (2000) Sako e Murray (2000) Asan <i>et al.</i> (2004) Mikkola e Skjott Larsen (2004) Fixson (2005) Persson e Ahlstrom (2006) Hoetker (2006) Pekkarinen e Ulkuniemi (2008) Lau <i>et al.</i> (2010) Bask <i>et al.</i> (2011) Jacobs <i>et al.</i> (2011) Yang <i>et al.</i> (2011) Salvador e Villena (2013) Yang <i>et al.</i> (2014) Kubota <i>et al.</i> (2017)

### **2.4.1. Trabalhos que aplicaram estudo de caso**

Langlois e Robertson (1991) analisaram sistemas modulares (produtos e processos modulares). Pires (1998) investigou o consórcio modular na Volkswagen e a mudança na coordenação da cadeia de suprimentos. Muffatto e Roveda (2002) investigaram o processo de desenvolvimento de novos produtos para entender como ocorre a implementação de plataformas modulares.

Doran (2003) explorou o desenvolvimento da modularização no setor automotivo, com particular ênfase ao impacto que a modularização tem sobre os processos de montagem dos fornecedores de componentes. Salvador *et al.* (2004) investigaram como a cadeia de suprimentos, a produção e a logística deveriam ser configuradas para diferentes níveis de customização das arquiteturas dos produtos.

Fredriksson (2006) analisou em um sistema de montagem modular (consórcio modular da Volvo), como as atividades dispersas, os recursos e as unidades organizacionais são coordenadas e quais são os efeitos e dificuldades correspondentes a estes relacionamentos.

Lau (2011) identificou fatores críticos que ocorrem no desenvolvimento de um projeto modular referentes às características do produto, definição de módulos e integração entre módulos. Paralikas *et al.* (2011) analisaram a influência da MD em linhas de montagem em uma indústria do setor automotivo.

De Mello e Marx (2007) verificaram que a Volkswagen utiliza diferentes estratégias para transferência de projetos aos fornecedores, sempre mantendo o controle de parte do projeto de cada peça ou módulo, seja definindo as especificações de projeto, seja transferindo apenas o projeto de fabricação e montagem. Doran *et al.* (2007) investigaram a influência da modularização na cadeia de suprimentos de fornecedores de peças.

Sacomano e Truzzi (2009) identificaram como o posicionamento estrutural (tamanho da rede, atores envolvidos, limites) e relacional (interdependência entre os atores; mecanismos para resolução de problemas; tipo de informação circulante; frequência de interação; intensidade emocional; comprometimento com recursos, e velocidade e formalidade/informalidade da relação na rede) dos fornecedores de autopeças no consórcio modular, condicionou a difusão do conhecimento, a criação

de mecanismos de controle e a modificação das relações de poder com a montadora.

Dos Santos e Forcellini (2012) investigaram as motivações para adoção de modularidade em um fabricante de eletrodomésticos. Eles indicaram, no caso estudado, como condicionantes fortes e muito fortes para adoção de modularidade: padronizar produtos e/ou subsistemas, melhorar a montagem do produto, postergar a montagem final do produto, reduzir a variedade de produtos por razões de custos (estoque, por exemplo), melhorar as respostas às flutuações de demanda, diminuir o tempo de lançamento de novos produtos no mercado e atender os clientes por meio de customização em massa.

#### **2.4.2. Trabalhos que utilizaram a *survey***

Ettlie e Kubarek (2008) descobriram que a reutilização e a extensão da reutilização do projeto de produto foram significativa e inversamente associadas à fabricação, mas não aos serviços. Segundo os autores, nos serviços, as barreiras à aplicação dos princípios de reutilização do projeto foram menores do que na fabricação, e o provisionamento interno mostrou ter um impacto maior na extensão da reutilização em comparação com a fabricação.

Bush *et al.* (2010) estudaram a relação entre a arquitetura do produto modular e o design da cadeia de suprimentos. Os autores citam que a comunalidade de módulos e componentes é preponderante para que esta relação traga benefícios para as empresas que adotam a MD.

Caridi *et al.* (2012) estudaram o setor moveleiro. Estes autores investigaram se, as escolhas da cadeia de suprimentos dependem da modularidade e inovação do produto, e como essas escolhas podem ser alinhadas às características do produto para maximizar o desempenho da empresa.

Gualandris e Kalchschmidt (2013) estudaram a cadeia de suprimentos e constataram que a MD e MP permitem maior flexibilidade, possibilitando reações rápidas às falhas do fornecedor. Os autores citam que as empresas devem identificar seu nível de complexidade operacional e uma maneira de reduzi-lo é pela implementação de MD e MP.

### **2.4.3. Trabalhos que desenvolveram modelos conceituais**

Ernst e Kamrad (2000) avaliaram diferentes estruturas da cadeia de suprimentos no contexto de modularização e adiamento / postergação da produção. Mikkola e Larsen (2006) orientam como organizar a produção de módulos e subconjuntos nas empresas da cadeia de suprimentos, de modo que a configuração final do produto se dê conforme a demanda explicitada. Os autores focam no planejamento logístico, de modo que atenderem mais rapidamente o cliente.

Hoetker (2006) investigou o relacionamento entre o produto modular e a MO. Persson e Ahlstrom (2006) focaram no gerenciamento de problemas em produtos modulares na indústria automotiva. Pekkarinen e Ulkuniemi (2008) relacionaram a MD com a fabricação de produtos para desenvolver a ideia de modularidade no contexto dos serviços. Lau *et al.* (2010) investigaram os relacionamentos entre a MD, a integração da cadeia de suprimentos e o desempenho do produto.

Bask *et al.* (2011) investigaram a relação entre a MD e a customização de serviços. Salvador e Villena (2013) avaliaram a integração entre o fornecedor e a montadora no desenvolvimento de novos produtos. Yang *et al.* (2014) propuseram um método de design modular para melhorar o desempenho ambiental de uma família de produtos, em relação ao reuso e reciclagem dos componentes no fim do seu ciclo de vida. Kubota *et al.*, (2017) propôs um modelo conceitual para estudar os relacionamentos entre a MD e a MP.

## **2.5. MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (SEM)**

A Modelagem de Equações Estruturais, denominada SEM (*Structural Equation Modeling*) abrange técnicas multivariadas de análise de dados que combinam aspectos de regressão múltipla e de análise fatorial para estimar simultaneamente uma série de relações de dependência (NEVES, 2018).

Para construir um modelo de equações estruturais parte-se de um modelo teórico previamente definido que permitirá determinar as múltiplas relações de dependência (ou relações causais) entre as variáveis (constructos) do modelo. Constructos são fatores inobserváveis ou fatores latentes representados por múltiplas variáveis (AMORIM *et al.*, 2012).

Um modelo teórico consiste em um conjunto sistemático de relações que fornecem explicações consistentes e abrangentes dos fenômenos. O modelo teórico que serve de apoio à construção de um modelo de equações estruturais não é restrito a uma teoria definida no âmbito acadêmico, mas pode ser alicerçado na experiência e na prática obtidas a partir da observação do comportamento real (AMORIM *et al.*, 2012; JABBOUR *et al.*, 2012; NEVES, 2018).

A ideia geral da SEM pode ser representada na Figura 8. Enquanto que um modelo de equações estruturais é representado pela Figura 9, onde os círculos representam as variáveis latentes ou constructos, os retângulos as variáveis observadas e as setas, a relação causal direta entre duas variáveis.

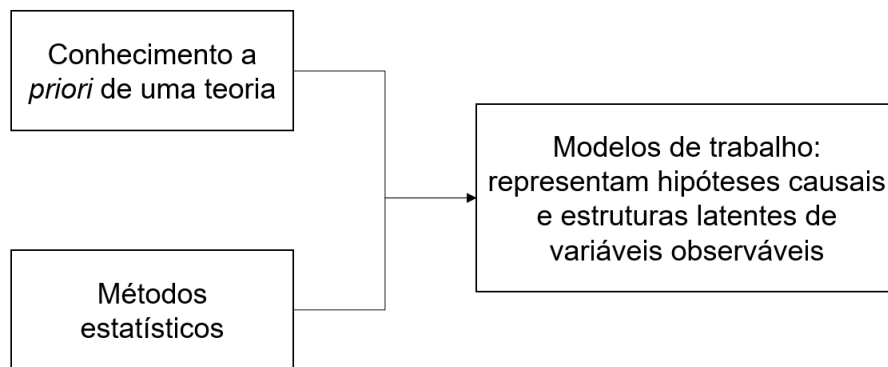


FIGURA 8. FILOSOFIA DE MODELAGEM COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS.

FONTE: AMORIM *ET AL.* (2012).

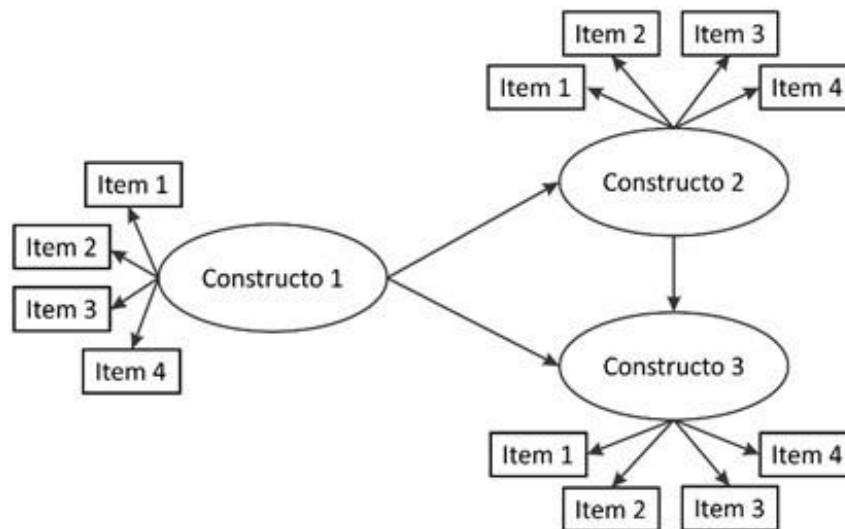


FIGURA 9. MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS.

FONTE: MAROCO (2010).

A SEM é conhecida por muitos nomes: análise estrutural de covariância, análise de variável latente, e, às vezes, simplesmente pelo nome do pacote especializado usado na sua implementação (Exemplo: LISREL, AMOS). Apesar de existirem diferentes maneiras para testar as SEM todos os modelos de equações estruturais são caracterizados por alguns aspectos:

- I. Estimação de relações de dependência múltipla e inter-relacionada.
- II. Uma habilidade para representar conceitos não observados nessas relações e corrigir erros de mensuração no processo de estimação do modelo.
- III. Definição de um modelo para explicar o conjunto inteiro de relações.
- IV. Abordagem de modelos, na qual se faz uma análise comparativa da qualidade de ajuste de dois ou mais modelos teóricos previamente especificados.
- V. Abordagem estritamente confirmatória, na qual se testa um modelo teórico previamente especificado, concluindo-se por sua aceitação ou refutação.

Tu *et al.* (2004) determinaram práticas de fabricação baseadas em modularidade (MBMP) (*Modularity Based Manufacturing Practices*) e desenvolveram uma metodologia para mensurar a MBMP. Para tanto, propuseram um modelo teórico baseado em hipóteses que relaciona as MBMP, a proximidade do cliente (CC), e a capacidade de customização em massa (CM).



Para a análise de confiabilidade realizada nas três dimensões do constructo MBMP foi utilizada a correlação corrigida e item total (CTIC). O constructo (CC) foi conceituado através da análise fatorial. As relações hipotéticas foram testadas usando a Modelagem de Equações Estruturais do software LISREL (Relação Estrutural Linear - *Linear Structural Relationship*).

Jabbour *et al.* (2012) propuseram um modelo para analisar a relação entre manufatura enxuta e o desempenho operacional de empresas do setor automotivo no Brasil e utilizaram a Modelagem de Equações Estruturais para testar a hipótese circunscrita no modelo.

## **2.6. INDICADORES**

Muitos trabalhos utilizam indicadores de desempenho para mostrar os resultados da adoção da modularidade em vários âmbitos do ambiente industrial. Porém, esses trabalhos apresentam escassez de estudos objetivos em relação à aplicação desses indicadores, empregando com maior frequência pesquisas qualitativas por meio de questionários e avaliação em forma de escala (*Likert* por exemplo) tornando as informações subjetivas.

Essa etapa procurou identificar na literatura, indicadores que possam incorporar o modelo, contribuindo para a ampliação da visão estratégica e gerencial sobre a modularidade no ambiente industrial.

### **2.6.1. Indicadores para avaliar MD**

A seguir são apresentados os trabalhos encontrados na revisão de literatura que utilizaram indicadores de desempenho para medir, de forma qualitativa ou quantitativa, a eficiência da modularidade no ambiente industrial e na organização.

He e Kusiak (1998) mediram a eficiência do balanceamento de linhas de montagem para produtos modulares por meio de três indicadores de desempenho: número de estações na linha; tempo ocioso da linha e; tempo de espera dos produtos na linha.

Sanchez (1999) sugere que o reuso de componentes padronizados em linhas de produtos traz benefícios financeiros que podem ser medidos por indicadores de

custos tais como: custo de estoque de componentes; custo de compra de componentes comuns; custo de desenvolvimento de produtos; custo de treinamento de operadores (aprendizagem).

Brusoni e Prencipe (2001) estudaram o efeito do produto modular no design organizacional, mensurando, por exemplo, a relação entre a mão-de-obra e o desempenho no projeto do produto, por meio de indicadores como: percentual de projetos liderados por contratados; percentual de crescimento de custos; índice de tempo de engenharia (medida do retrabalho necessário para colocar a planta em operação) e; tempo de inicialização (quantos meses são necessários para levar a planta à operacionalidade em escala total).

Kusiak (2002) relacionou a MD e a MP, que incorpora o processo de fabricação e a cadeia de suprimentos e definiu indicadores de desempenho como, tempo, custo, confiabilidade, qualidade e manufaturabilidade, para medir a perspectiva de otimização no estágio de projeto do produto.

Jose e Tollenaere (2005) identificaram indicadores para medir as implicações decorrentes da MD sobre a organização. A MD e a reutilização de módulos para projetar outros produtos requer uma análise cuidadosa porque qualquer atualização ou escolha de design pode ter influência sobre a manufatura e a gestão das atividades, afetando o desempenho da empresa, por exemplo. Os autores sugerem indicadores para controlar: custos de estoques; custos de transporte; número de montagem na linha de produção; produtividade; custo dos componentes do produto; quantidade de componentes reutilizáveis por projeto.

Mikolla e Gassmann (2003) identificaram indicadores de desempenho que podem ajudar profissionais a analisar vários processos gerenciais e estratégicos em função das implicações decorrentes do projeto de produtos modulares na indústria. Dentre os principais indicadores destacam-se o percentual de componentes reutilizáveis em novos projetos; percentual de componentes específicos em novos projetos (inovações) e; custo de substituição de componentes em novos projetos (custo de projetar um novo sistema pelo custo de utilizar componentes existentes).

Huang *et al.* (2005) determinou os relacionamentos entre decisões de plataforma de produtos (comunalidade de módulos) e a tomada de decisão na cadeia de suprimentos por meio de indicadores de desempenho como, custo total da cadeia

de suprimentos (custo de inventário) e o nível de estoque. Outros indicadores como, o tempo total de desenvolvimento de novos produtos e o lucro decorrente da utilização de itens comuns em novos projetos, foram propostos para analisar a cadeia de suprimentos em estudos futuros.

Miguel (2005) identificou oportunidades para investigar a MD, a MP e a MO por meio de tópicos que podem ser transformados em indicadores de desempenho como: *trade-offs* de custo e desempenho em design de produto modular; lead time medido a partir do momento em que os componentes são pedidos; eficiência na fabricação devido ao design modular do produto; configuração da produção devido à decisão modular (número de sub-montagens, complexidade de linhas de produção); novos investimentos em plantas e fusões e aquisições; decisões de terceirização ao adotar o design modular do produto (número de terceirizações, número de fornecedores).

Kong *et al.* (2009) afirmam que a redução de custo é um dos principais fatores para que as empresas adotem a MD. No entanto muitos pesquisadores ainda não encontraram evidências convincentes e citam a necessidade de estudos quantitativos que suportem essa afirmação. Os autores classificaram os benefícios decorrentes da MD em três grupos: redução de custos; variedade de módulos e; inovação. Cada grupo apresenta indicadores de desempenho que podem medir os efeitos da modularidade como: custo de manufatura; custo de desenvolvimento; custo de serviços; quantidade de módulos comuns e exclusivos; quantidade de combinações de produtos; tempo de desenvolvimento; quantidade de itens reutilizáveis; tempo do produto no mercado.

Sonego (2013) identificou indicadores para medir a complexidade e o grau de inovação em produtos. A inovação é medida de forma comparativa pela escala proposta por Shenhar e Dvir (2004) que a divide em três níveis: derivativo/adaptativo; plataforma/variante; inovação/original. A complexidade é medida por seis indicadores propostos por Holmqvist e Persson (2003), voltados ao projeto de produtos modulares: variação de tamanho; número de partes; tecnologias; número de variantes; solução/função; arquitetura.

Vickery *et al.* (2015) examinaram empiricamente as relações entre MD, MP e o desempenho de introdução de novos produtos e se a complexidade do produto e

do processo modera esses relacionamentos. Utilizaram indicadores perceptuais como: tempo de desenvolvimento de produto; grau de inovação de produto; e a frequência de introdução de novos produtos; e indicadores objetivos: complexidade do produto (número de itens que compõem a estrutura do produto - BOM) e complexidade do processo (número de processos de fabricação distintos e necessários para produzir o produto).

Zhang *et al.* (2014) utilizaram medidas subjetivas para analisar os efeitos da aquisição de conhecimento dos clientes por meio de itens relacionados às rotinas e procedimentos de interação com o cliente, como compartilhamento de informações em tempo real, reuniões especiais e pesquisas sobre a capacidade de customização em massa da montadora.

Caniato e Grobler (2015) investigaram se a complexidade do produto modera o impacto tanto do desenvolvimento de novos produtos (NPD) quanto da gestão da cadeia de suprimentos (SC) sobre o desempenho operacional. Investigaram a performance operacional por meio de escala *Likert* abordando indicadores como: velocidade de entrega; produtividade; custos; capacidade de utilização; capacidade de customização; flexibilidade de *mix* e volume; etc. Os autores mostram que a integração de NPD e SC permite gerenciar a complexidade do produto e, ao mesmo tempo, melhorar o desempenho operacional.

Saghiri e Barnes, (2016) investigaram a relação entre a flexibilidade do fornecedor e a capacidade de postergação da produção. Para medir a flexibilidade foram utilizadas medidas subjetivas (escalas de 1 a 5) enquanto a postergação foi medida por meio de diversos indicadores extraídos da literatura como: duração do tempo do adiamento; tempo de duração das atividades atrasadas em comparação com o tempo total gasto em operação; custo total das atividades atrasadas.

Os mesmos autores também identificaram e mediram de forma qualitativa a postergação no projeto do produto com indicadores como: tempo médio de postergação no projeto; número de atividades postergadas no projeto; percentual de produtos com postergação.

Piran *et al.* (2016) analisaram os efeitos da MD na eficiência da engenharia de desenvolvimento de produtos e dos processos de fabricação, por meio de indicadores de desempenho. Para a engenharia de produto utilizaram-se

indicadores como: número de projetos desenvolvidos em um determinado período; número de pessoas envolvidas em projetos; número de itens (peças) não compartilhados com outros produtos incluídos na estrutura de cada projeto; tempo, em dias, para desenvolver um novo projeto.

Em processos de fabricação alguns indicadores medidos foram: a área utilizada para a montagem do produto; quantidade de matéria-prima utilizada; tempo, em dias, do começo ao fim da montagem; número de produtos produzidos em determinado período; número de pessoas envolvidas no processo de produção. Os resultados indicam um efeito positivo da MD no desenvolvimento de novos produtos e na fabricação de produtos modulares.

Wang *et al.* (2016) utilizaram medidas subjetivas para medir os efeitos da padronização, da inovação dos produtos e da velocidade de entrega sobre a capacidade de customização em massa. Os autores sugerem investigar os diferentes efeitos da inovação de produtos e processos na capacidade de customização em massa por meio de medidas objetivas, como investimentos em P&D ou o número de patentes, para avaliar a inovação.

Henriques e Miguel (2017) determinaram o grau de MD e MP por meio de medidas qualitativas. Utilizaram indicadores como: compatibilidade; substituibilidade; comonalidade; número de módulos, para medir a MD. Para a MP, utilizaram medidas como: o tipo de arranjo dos processos de montagem; terceirização das atividades e; propriedade de ativos. No entanto, alguns desses indicadores podem ser utilizados de forma quantitativa como por exemplo: número de itens comuns e número de módulos por produto para medir a MD. Quantidade de terceirizações para medir a MP.

Tang *et al.* (2017) avaliaram o impacto da MD sobre a capacidade de customização em massa e utilizaram medidas subjetivas para medir os quatro aspectos do recurso de customização em massa, segundo os autores: capacidade de customização de alto volume; eficiência de custo de customização; capacidade de resposta de customização e qualidade decorrente da customização.

Chavez *et al.* (2017) investigaram a relação entre múltiplas dimensões da capacidade de fabricação como, qualidade, entrega, flexibilidade e custo com o

desempenho organizacional. As dimensões da capacidade de fabricação foram medidas usando uma escala *Likert*, ou seja, medidas subjetivas.

Para Wheelwright (1984) o conceito de flexibilidade pode ser obtido pela introdução de novos produtos ou pela ênfase na habilidade de produzir altos e baixos volumes rapidamente ou, ainda, por customização de produtos. Mais tarde, Ward *et al.* (1998), a flexibilidade pode ser medida considerando-se aspectos como a capacidade de acomodar mudanças no *mix* de produtos e modificações no volume de produção.

O Quadro 6 mostra os indicadores utilizados nos trabalhos citados acima, bem como os respectivos autores e ano de publicação dos trabalhos.

QUADRO 6. INDICADORES PESQUISADOS EM TRABALHOS PUBLICADOS.

Indicador	Descrição	Autores
Capacidade	Número de postos de trabalho na linha de montagem	He e Kusiak (1998)
	Percentual de projetos terceirizados	Brusoni e Prencipe (2001)
	Número de montagens na linha principal	Jose e Tollenaere (2003)
	Número de sub-montagens	Miguel (2005)
	Número de terceirizações	
	Modificações no volume de produção	Chavez <i>et al.</i> (2017)
	Número de atividades postergadas no projeto	Saghiri e Barnes (2015)
	Percentual de produtos com postergação	
	Número de pessoas envolvidas em projetos	Piran <i>et al.</i> (2016)
	Área utilizada para a montagem do produto	
	Número de pessoas envolvidas no processo de produção	
Custo	Custo de compra de componentes comuns	Sanchez (1999)
	Custo de treinamento de operadores	
	Custos de transporte	Jose e Tollenaere (2003)
	Custo dos componentes do produto	
	Custo de substituição de componentes em novos projetos	Mikolla e Gassmann (2003)
	Custo de inventário	Sanchez (1999) Jose e Tollenaere (2003) Huang <i>et al.</i> (2004)
	Custo de desenvolvimento de produtos modulares	Sanchez (1999) Miguel (2005) Kong <i>et al.</i> (2009) Wang <i>et al.</i> (2016)
	Custo de manufatura	Kong <i>et al.</i> (2009) Chavez <i>et al.</i> , (2017)
	Custo de serviços	Kong <i>et al.</i> (2009)
Custo de atividades atrasadas	Saghiri e Barnes (2015)	

QUADRO 6. INDICADORES PESQUISADOS EM TRABALHOS PUBLICADOS. “CONTINUAÇÃO”

Indicador	Descrição	Autores
Lead Time	Tempo de entrega de módulos por terceiros	Miguel (2005)
	Tempo de desenvolvimento de produto modular	Kong <i>et al.</i> (2009) Piran <i>et al.</i> (2016)
	Tempo médio de postergação no projeto	Saghiri e Barnes (2015)
	Tempo total de montagem	Piran <i>et al.</i> (2016)
Produtividade	Número de projetos desenvolvidos em um período	Piran <i>et al.</i> (2016)
	Número de produtos produzidos em um período	
Inovação	Número de componentes reutilizáveis por projeto	Jose e Tollenaere (2003) Kong <i>et al.</i> (2009)
	Percentual de componentes reutilizáveis em novos projetos	Mikolla e Gassmann (2003)
	Percentual de componentes específicos em novos projetos	
	Número de módulos comuns e exclusivos	Kong <i>et al.</i> (2009) Piran <i>et al.</i> (2016)
	Quantidade de combinações de produtos	Kong <i>et al.</i> (2009)
	Grau de inovação de produto (itens novos/total de itens)	Vickery <i>et al.</i> (2015)
	Número de patentes	Wang <i>et al.</i> (2016)
	Número de itens comuns por projeto	Henriques e Miguel (2017)
	Número de módulos por produto	
Time to Market	Tempo do produto no mercado	Vickery <i>et al.</i> (2015)
	Frequência de introdução de novos de produtos	

O Capítulo 2 permitiu, com base nos conceitos apresentados, propor o modelo da pesquisa, composto pelos elementos conceituais que caracterizam a dimensão MD e que determinam as relações causais com as variáveis, pesquisa e desenvolvimento de produtos (PD), produção/processos de fabricação (PR) e processos organizacionais OR). O modelo ajustado após aplicação da Modelagem de Equações Estruturais será apresentado no Capítulo 4, Seção 4.3 desta tese.



### 3. MÉTODOS E ABORDAGENS

Este Capítulo apresenta os métodos e abordagens utilizados para realização do presente trabalho. A pesquisa foi desenvolvida em três fases e 13 etapas conforme a Figura 10.

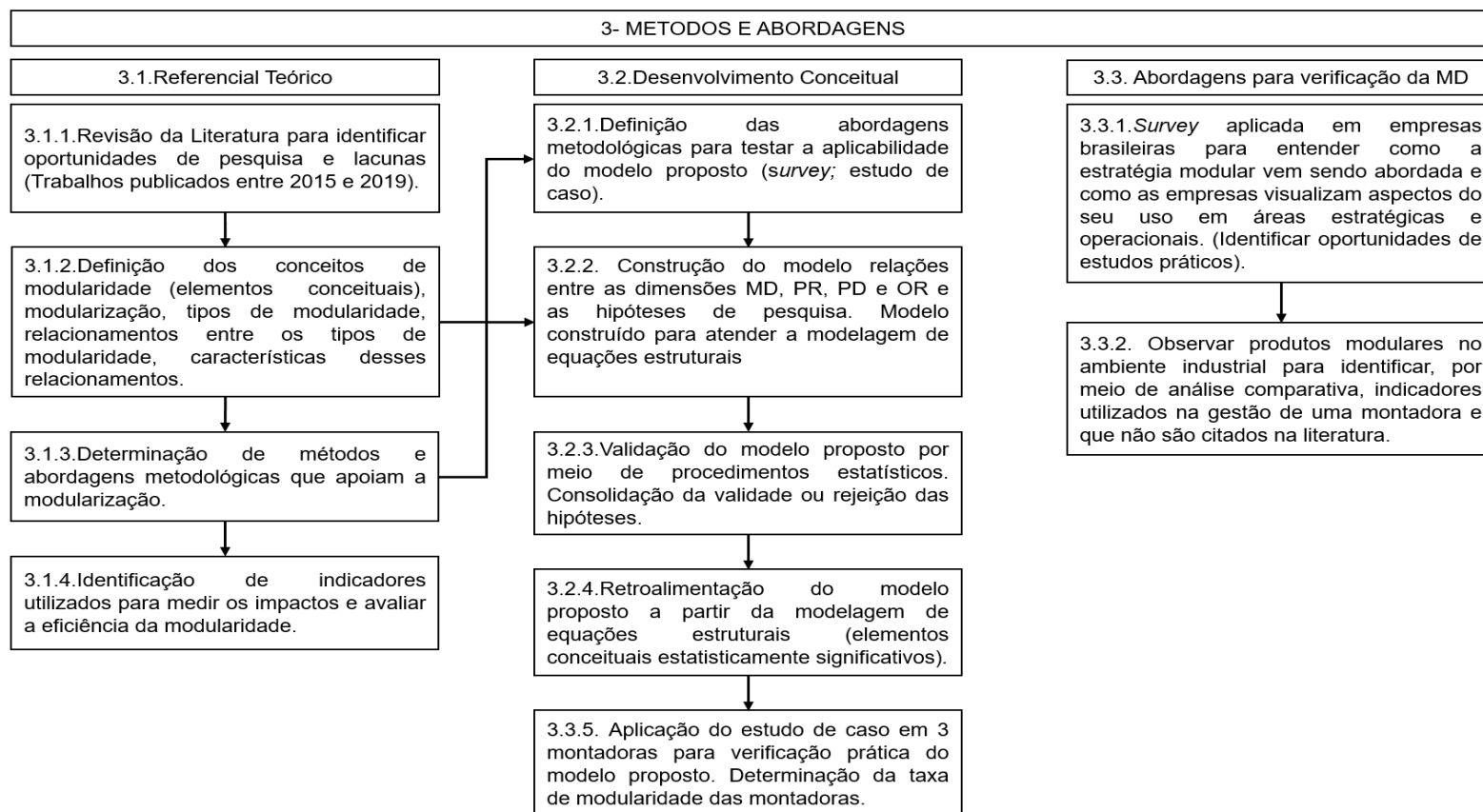


FIGURA 10. FASES E ETAPAS DA PESQUISA.

A primeira fase apresenta o referencial teórico, dividido em quatro etapas. A revisão de literatura foi realizada para identificar lacunas e oportunidades de pesquisa; tratar dos principais conceitos sobre modularidade e modularização; determinar os métodos e abordagens metodológicas que apoiam a modularização e; apresentar indicadores que avaliam a eficiência e os efeitos da modularidade.

A segunda fase consiste no desenvolvimento conceitual do modelo. Compreende a definição das abordagens metodológicas utilizadas para validar e testar a aplicabilidade do modelo; a construção do modelo, formado por variáveis extraídas da literatura que caracterizam as relações causais da MD; validação do modelo por meio de procedimentos estatísticos (Modelagem de Equações Estruturais); ajuste do modelo a partir dos resultados estatísticos e; aplicação dos estudos de caso em três montadoras dos setores investigados para verificar a aplicabilidade prática do modelo. Na etapa seguinte, o modelo é então ajustado de acordo com os resultados obtidos nos estudos de caso.

A terceira fase tem objetivo prático e procura aprimorar o conhecimento sobre a aplicabilidade da estratégia modular. Para tanto foram desenvolvidas as seguintes atividades: *survey* em empresas brasileiras para entender como a MD vem sendo abordada e como as empresas visualizam aspectos do seu uso em áreas estratégicas e operacionais; identificação de indicadores utilizados na gestão de uma montadora e que possam estruturar o modelo proposto; proposição do modelo.

### **3.1. REFERENCIAL TEÓRICO**

A primeira fase teve como objetivo identificar oportunidades de pesquisa, por meio da revisão da literatura sobre modularidade e modularização. Os procedimentos metodológicos adotados na Fase 1 estão descritos a seguir.

#### **3.1.1. Identificação das oportunidades de pesquisa**

Para esta etapa do trabalho foi realizada uma revisão da literatura sobre modularidade e modularização, conduzida na base de dados *Web of Science*, com um recorte temporal entre 2015 e 2019, com o objetivo de determinar as oportunidades de pesquisa relacionadas ao tema.

Na base de dados Web of Science a pesquisa utilizou a seguinte regra: “modular” OR “modularity” OR “modularization” OR “modularisation”, (Topic). A pesquisa foi refinada por: Tipos de documento (Article) e Categorias do Web of Science (“Operations Research Management Science”) OR (“Engineering Industrial”) OR (“Business”) OR (“Management”) OR (“Engineering Mechanical”) OR (“Engineering Manufacturing”) resultando em 400 trabalhos. Em seguida realizou-se a leitura do título, do resumo e das palavras-chave dos trabalhos selecionados. Os que apresentaram aderência ao tema “modularidade” foram selecionados, resultando em 40 trabalhos, que foram lidos integralmente, afim de identificar lacunas e oportunidades de pesquisa.

Dentre as oportunidades de pesquisa identificadas, as relações causais entre a MD, MP e MO, os impactos e implicações resultantes da adoção da modularidade no ambiente industrial e na organização e a necessidade de realizar estudos empíricos e quantitativos que evidenciem os resultados desses relacionamentos, foram escolhidas para serem investigadas nesta tese, conforme justificado anteriormente no Capítulo 1.

### **3.1.2. Conceitos sobre modularidade e modularização**

A revisão de literatura apresentada neste item aborda os nucleadores teóricos considerados para o desenvolvimento do modelo proposto nesta tese. Os conceitos centrais do trabalho (módulo, modularidade, modularização, plataforma de produto, arquitetura de produto, família de produtos) são apresentados. Disserta-se sobre os tipos de modularidade e seus relacionamentos, destacando-se os elementos conceituais (variáveis) que se conectam, causam mudanças, impactos e podem formar relacionamentos entre MD e as áreas estratégicas e operacionais (PD, PR e OR).

### **3.1.3. Métodos e abordagens para a modularização**

Dessa revisão de literatura pretende-se extrair proposições teóricas sobre as implicações decorrentes da adoção da MD no ambiente industrial, objeto desta tese. Embora os preceitos dos métodos e abordagens doravante apresentados busquem promover e favorecer a adoção da modularização, observaram-se diferenças e semelhanças que devem ser comentadas. Dessa forma, apresenta-se aqui o entendimento de como cada método ou abordagem foi aplicado e qual o objeto de sua avaliação poderá contribuir para aprimorar o conhecimento sobre a adoção da modularização.

### **3.1.4. Indicadores para avaliar a eficiência da modularidade**

A revisão de literatura neste item tem o objetivo de identificar indicadores utilizados para medir os efeitos e avaliar a eficiência da modularidade e que possam ser incorporados no modelo proposto.

Nas etapas acima, a revisão de literatura utilizou-se dos mesmos critérios de busca descritos acima (i.e., mesmas palavras-chaves, artigos em língua inglesa), porém sem restrições de data. De forma específica, ao final desta fase, com base no referencial teórico extraído, almejou-se propor um modelo conceitual que relacione, por meio de elementos conceituais, MD, PD, PR e OR e que seja estruturado com indicadores que determinem os resultados desses relacionamentos por meio de medições quantitativas.

O Quadro 7 apresenta as fases para seleção e análise das publicações que compõem a Fundamentação Teórica deste trabalho.

QUADRO 7. CONSTRUÇÃO DAS BUSCAS NAS BASES DE DADOS.

Revisão da Literatura - Protocolo de busca (2019)			
<i>A modularidade do produto se relaciona de forma positiva com áreas estratégicas e operacionais, quais os efeitos e implicações nas operações e no processo decisório decorrentes desses relacionamentos e como os mesmos podem ser evidenciados e medidos?</i>			
("modular" OR "modularity" OR "modularization" OR "modularisation") em Tópicos (sem restrição de data)	Web of Science	Scopus	Scielo
	3235	231	23
Áreas de conhecimento	("Operations Research Management Science") OR ("Engineering Industrial") OR ("Business") OR ("Management") OR ("Engineering Mechanical") OR ("Engineering Manufacturing")	("ENGI") AND ("Modularity") OR ("Modular Designs") OR ("Manufacture") OR ("Modularization") OR ("Modular") OR ("Modular Structures") OR ("Flexible Manufacturing Systems") OR ("Modular Approach") AND ("BUSI")	("Engineering Multidisciplinary"), ("Engineering Manufacturing"), ("Engineering Industrial"), ("Engineering Mechanical"), ("Engineering Aerospace"); Coleções: Brasil
Filtro 1 (palavras chave em títulos e/ou resumos)	198	187	-----
Artigos duplicados	29	-----	3
Filtro 2 (Leitura integral)	67	139	15
Língua Inglesa	67	139	3
Língua Portuguesa	-----	-----	15
Total		221	

Na base de dados *Web of Science* a pesquisa resultou em 3235 trabalhos. Na segunda etapa da pesquisa foram selecionados os trabalhos que contêm as palavras-chave em seus títulos e/ou resumos e que tiveram ao menos vinte citações, totalizando 198 trabalhos. Na terceira etapa foram excluídos 29 trabalhos que estavam em duplicidade entre *Web of Science* e *Scopus*. Na quarta etapa, os

169 trabalhos restantes foram submetidos a uma leitura focada em encontrar os métodos que apoiam a adoção da modularidade e identificar os elementos conceituais relacionados com os tipos de modularidade. Foram selecionados 67 trabalhos.

Para a base de dados *Scopus* foram encontrados 231 trabalhos. Na segunda etapa da pesquisa foram selecionados os trabalhos que contêm as palavras-chave em seus títulos e/ou resumos, totalizando 187 trabalhos. Na terceira etapa, após a leitura, foram selecionados 139 trabalhos, que apresentaram assuntos relacionados com a modularidade.

Para a base de dados *Scielo* foram encontrados 23 trabalhos. Na segunda etapa da pesquisa, foram excluídos os trabalhos duplicados (três), que não contêm as palavras-chave em seus títulos e/ou resumos e que se mostraram irrelevantes para o propósito deste trabalho, resultando em 15 trabalhos. A revisão de literatura selecionou um total de 221 trabalhos.

### **3.2. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL**

O desenvolvimento do modelo compreende as quatro etapas, descritas com mais detalhes a seguir.

#### **3.2.1. Abordagens para testar o modelo proposto**

Esta etapa do trabalho destinou-se a definir as metodologias empregadas para verificar e demonstrar a aplicabilidade do modelo conceitual das relações entre MD, PD, PR e OR. Para isso, desenvolveu-se a pesquisa sob os fundamentos da pesquisa qualitativa e quantitativa (quali-quantitativa), pois ambos os aspectos estão presentes nesta metodologia.

A pesquisa quantitativa adotou a estratégia da *survey* com caráter confirmatório (FORZA, 2002). Segundo o autor, a *survey* de caráter confirmatório é realizada com o objetivo específico de confirmar ou refutar, por meio do teste de hipóteses, a adequação do modelo proposto, construído de forma teórica mediante conceitos

extraídos da literatura. Os dados obtidos na *survey* foram analisados por meio de Modelagem de Equações Estruturais (TU *et al.*, 2004; JABBOUR *et al.*, 2012).

Para a pesquisa qualitativa, definiu-se o estudo de caso como método de investigação, pois trata-se de uma abordagem apropriada para pesquisas que demandam mais aprofundamento de determinado tema, bem como para trabalhos que possuam questões de pesquisa incorporando elementos explanatórios (VOSS e HSUAN, 2009; YIN, 2014). A técnica da observação participante, onde o observador assume até certo ponto, o papel de um membro do grupo (GIL, 2006), foi utilizada para a coleta de dados.

### **3.2.2. Construção do modelo e das hipóteses de pesquisa**

Segundo Winter (1998), um modelo é bom, não por causa do excessivo rigor que aplica a si mesmo, medido pelo número de variáveis levadas em consideração, mas sim pelo fato de modelar e expressar adequadamente a realidade que enfrenta.

O modelo proposto foi desenvolvido com este objetivo. A fundamentação teórica apresenta definições e estudos anteriores, que embasaram a construção do modelo e a proposição das hipóteses de pesquisa nele circunscritas.

A Seção 4.1 do Capítulo 4 apresenta o modelo, representado em forma de diagrama pois permite a rápida visualização das relações de interdependência por ele representado e é a base da Modelagem de Equações Estruturais. Esta apresentação visual é chamada de diagrama de caminhos (*path diagram*) (AMORIM *et al.*, 2012).

O diagrama de caminhos é representado por um conjunto de figuras geométricas e setas que servem para evidenciar o tipo de variável (observada ou latente) e o tipo de relação entre elas. Dessa forma, os quadrados indicam as variáveis indicadoras (elementos conceituais) utilizadas para a construção de uma variável latente (construto/dimensão). As setas apresentam o seguinte sentido: partem do construto em direção às variáveis de medição que foram utilizadas para a construção da variável latente. Ou seja, são variáveis extraídas da literatura e que caracterizam as quatro dimensões do modelo proposto (MD, PR, PD e OR).

Já as setas que partem da dimensão (MD) para as variáveis (PR, PD, OR) indicam a possível relação causal direta entre as mesmas e que foram utilizadas para a criação das hipóteses (H1, H2, H3) circunscritas no modelo.

Neste sentido, as dimensões (PD, PR e OR) passam a figurar como variáveis dependentes (endógenas) ou aquelas que recebem influência de outras variáveis (MD) no modelo, uma das características da SEM, que é permitir que uma variável independente em uma etapa do modelo se torne uma variável dependente nas subsequentes relações.

O Quadro 8 apresenta as dimensões e as variáveis indicadoras utilizadas na construção do modelo.

QUADRO 8. DIMENSÕES E VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DO MODELO.

Modularidade do Produto (MD)	Desenvolvimento de produto (PD) MD -> PD	Produção (PR) MD -> PR	Organizacional (OR) MD -> OR
Padronização dos módulos	Terceirização do projeto do produto	Padronização dos processos	Flexibilidade organizacional
Reutilização de módulos	Customização do produto	Agilidade na fabricação	Unidades de negócios
Comunalidade de módulos	Agilidade de desenvolvimento	Terceirização da produção	Complexidade da cadeia de suprimentos
Substituição de módulos	Variedade de produtos	Automoção de processos	Co-desenvolvimento e co-produção
		Flexibilidade para produzir	
		Capacidade de customizar o produto	



### **3.2.3. Validação do modelo**

O modelo foi validado por meio de procedimentos estatísticos a partir de dados obtidos por meio de uma *survey* aplicada às empresas dos setores-alvo. Para a coleta de dados da pesquisa, foi planejado um instrumento do tipo questionário fechado acerca dos conceitos previamente revisados na Seção 2.1.

O questionário apresenta, em sua versão final de aplicação quatro blocos de assertivas, sendo um para a MD; um para entender a percepção dos respondentes sobre os efeitos da MD no PD; outro para os efeitos da MD na PR e; outro para entender os efeitos da MD na OR. Adotou-se a escala de *Likert* de 5 pontos, em que 1 representa “discordo totalmente” e 5 “concordo totalmente”, afim de registrar o nível de concordância ou discordância sobre as assertivas propostas.

O questionário foi submetido à validação de conteúdo, por meio da análise de pesquisadores e gestores da área de modularidade e modularização, afim de verificar a clareza e a objetividade das questões. Em sua versão final, o questionário foi inserido na plataforma *SurveyMonkey*, que desenvolve pesquisas online por meio de software de serviço.

### **3.2.4. Caracterização dos setores-alvo**

Os alvos da pesquisa *survey* foram a indústria automotiva brasileira, considerando as empresas fabricantes de automóveis, máquinas agrícolas e rodoviárias além dos fabricantes de peças e componentes (sistemistas) dessas montadoras. Os setores de eletrodomésticos e de máquinas e equipamentos também foram escolhidos, dada a oportunidade de se aplicar os estudos de caso para verificar a aplicabilidade prática do modelo.

Para o setor automotivo, o mercado interno foi o grande destaque de 2019, com quase 2,8 milhões de veículos licenciados, 7,67% a mais que em 2018. Em soma que considera os segmentos de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, este é o maior volume anual desde 2014, primeiro ano antes da crise econômica, quando as montadoras produziram 3,15 milhões de veículos (ANFAVEA, 2020).

No setor de máquinas agrícolas e rodoviárias as sete montadoras que produzem, tratores de rodas e de esteiras, colheitadeiras de grãos, colhedoras de cana e retroescavadeiras, foram responsáveis pela produção no primeiro trimestre de 2019 de 10,9 mil unidades, obtendo uma retração de 9,4% contra as 12 mil unidades produzidas em 2018 (ANFAVEA, 2020).

Em março de 2019, 4,5 mil unidades foram fabricadas, representando um aumento de 30,9% diante das 3,5 mil de fevereiro do mesmo ano e diminuição de 16% sobre as 5,4 mil em relação a março de 2018. As exportações no primeiro trimestre de 2019 caíram 8,6%: foram 2,7 mil este ano e 2,9 mil no ano passado (ANFAVEA, 2020).

Com 31 empresas que estão entre as maiores e mais representativas fabricantes de produtos eletrônicos e eletrodomésticos do país e do mundo, o faturamento da indústria de eletroeletrônicos em 2019 foi de 154 bilhões de Reais, fechando o ano com acúmulo percentual positivo de 5% em relação à 2018 (ABINEE, 2020).

A utilização da capacidade instalada apresentou aumento de 4% em 2019 e a produção física manteve-se estável. Para as empresas do setor de eletrodomésticos, 2019 foi marcado por expectativas positivas, um tanto quanto reduzidas nos últimos meses do ano, apontando certa frustração quanto à velocidade de retomada nas vendas e no consumo. As expectativas de queda nas vendas para 2020 manteve-se constante (3%), porém as expectativas de crescimento das vendas apresentaram redução de 3% em relação à 2018 (ABINEE, 2020).

No segmento de máquinas e equipamentos, o bom desempenho das vendas no mercado doméstico foi determinante para a manutenção do patamar positivo do setor em relação a 2018. O resultado anual de 0,7% (5,91 bilhões de reais de receita líquida) registrou crescimento abaixo de esperado (+1,6%). Todavia, o mercado interno cresceu 7,1% no período, enquanto as vendas externas retraíram 7,2%, diante de uma economia global em crescimento moderado (ABIMAQ, 2020).

Os investimentos produtivos, medidos pelo consumo aparente de máquinas e equipamentos (produção – exportação + importação) registrou retração de 2%. Na comparação contra dezembro de 2018, os investimentos foram 12,1% superiores.

Esse é um bom indicativo de expectativas de aumento mais intenso da atividade produtiva em 2020 (ABIMAQ, 2020).

Os resultados apresentados para os 3 segmentos indicam a necessidade de redução dos custos de produção, aumento da produtividade e maior participação nas exportações. As empresas precisam oferecer produtos customizados a custos reduzidos. A modularidade pode ser um fator preponderante para atingir estes objetivos, pois quando aplicada no desenvolvimento do produto, melhora a eficiência operacional (STARR, 1965), reduz custos de fabricação (GU e SOSALE, 1999; CHEN e LIU, 2005; CARNEVALLI *et al.*, 2013) e aumenta a possibilidade de customização (MORRIS *et al.*, 2004; STAUDENMAYER *et al.*, 2005; SCAVARDA, 2010).

### **3.2.5. Survey para validação do modelo**

A coleta de dados ocorreu entre os meses de junho e outubro de 2019. A rede de relacionamento profissional *LinkedIn* foi utilizada para convidar gerentes de produtos, gerentes de produção e engenheiros a participarem da pesquisa. Inicialmente foi enviada uma solicitação de conexão e após o aceite do respondente, um breve texto mencionando o conteúdo da pesquisa foi encaminhado.

Após receber o aceite, o link de acesso ao questionário, <https://pt.surveymonkey.com/r/TH3VQ79> gerado pela plataforma *SurveyMonkey*, foi enviado por *e-mail* ou pelo *LinkedIn* para o respondente. As respostas dos questionários foram confirmadas pelos respondentes via *LinkedIn*. A plataforma *SurveyMonkey* permitiu a gestão diária das respostas recebidas.

### **3.2.6. Aplicação dos procedimentos estatísticos**

Foram coletados 92 questionários por meio do site da pesquisa, totalizando uma taxa de retorno de 28,7%, valor considerado adequado diante dos percentuais indicados por Synodinos (2003). Obtiveram-se 90 respostas consideradas como válidas, ou seja, responderam a todos os itens do questionário (taxa de resposta 28%). Hair *et al.* (2005) recomendam um tamanho mínimo da amostra cinco vezes

maior que o número de itens a serem avaliados. Como o modelo proposto apresenta 18 variáveis, deveriam ser coletados, no mínimo, 90 questionários.

A Figura 11 apresenta a distribuição das empresas pelos 3 setores da indústria abordados na pesquisa, destacando a indústria automobilística e os produtos produzidos pelas empresas que o constituem. A *survey* abrangeu sete dos nove tipos de produtos fabricados pelo setor automotivo. .

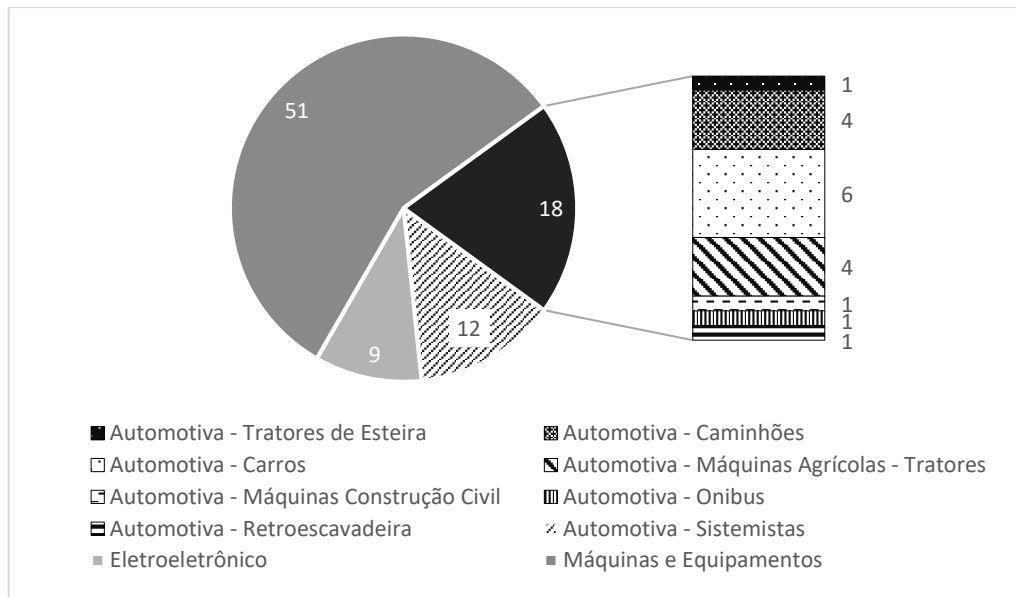


FIGURA 11. EMPRESAS QUE PARTICIPARAM DA SURVEY PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

Dessa maneira, tem-se um indicativo positivo da adequação do tamanho da amostra. A amostra foi composta por 18 (20%) empresas do segmento automotivo, 12 (13%) sistemistas, nove (10%) montadoras do segmento de eletrodomésticos e 51 (58%) empresas do segmento de máquinas e equipamentos.

Assim, espera-se que as análises aqui desenvolvidas possam representar, em alguma medida, o comportamento de interação entre a MD, PD, PR e OR dos setores analisados, sem maiores pretensões de extrapolação. Cada questionário respondido iniciava uma ação de preenchimento automático de uma planilha de dados para posterior processamento estatístico.

A análise foi dividida em duas partes. Na primeira parte foram validadas as dimensões desenvolvimento de produtos (PD), produção (PR) e organizacional

(OR), isto é, determinou-se se os itens dessas dimensões estão de fato mensurando o mesmo objeto.

A análise de dados envolveu o uso de procedimentos estatísticos como, a análise de componentes principais e a Modelagem de Equações Estruturais para testar a validade e a confiabilidade do modelo proposto bem como a consolidação da validade ou rejeição das hipóteses que o constituem (JABBOUR *et al.*, 2012). Nesta fase verifica-se se os elementos conceituais, que constituem o modelo, são estatisticamente significativos.

Para estimar a significância estatística das relações entre os elementos conceituais e os tipos de modularidade foi realizado um teste de robustez do modelo. Todas as análises foram realizadas utilizando o software estatístico R (TEAM, 2018). No Capítulo 4, Seção 4.2 apresentam-se os procedimentos estatísticos associados a cada um dos resultados obtidos.

Esta etapa do trabalho contou com a colaboração de uma empresa especializada em aplicar os procedimentos estatístico citados acima bem como analisar os resultados.

### **3.2.7. Retroalimentação do modelo**

Esta fase apresenta o modelo ajustado após a aplicação dos procedimentos estatísticos, com as cargas padronizadas indicando a significância das relações entre as variáveis dependentes (elementos conceituais) e a variáveis independentes (PR, PD e OR). O modelo mostra também os resultados da correlação entre as variáveis independentes bem como os resultados que validam ou não as hipóteses de pesquisa.

### **3.2.8. Estudos de caso**

O estudo de caso foi utilizado como um mecanismo de avaliação (LACERDA *et al.*, 2013) para a comprovação e validação do modelo proposto, evidenciando o que funcionou como o previsto e propondo ajustes e alterações de acordo com o que

foi observado na realidade. Por motivos de sigilo os nomes das empresas foram preservados, identificando-se apenas o segmento de atuação de cada uma.

A montadora “Trator” é uma empresa que desenvolve e fabrica máquinas e implementos agrícolas, exportando para mais de cem países. A modularidade é aplicada no desenvolvimento de produtos e facilita a customização do produto, que ocorre no momento da expedição dos produtos. O sistema de produção, estruturado em linhas de montagens e sub-montagens, atende ao *make-to-order*.

A montadora “Máquinas e Equipamentos” é uma empresa nacional que projeta e fabrica equipamentos no segmento de engenharia térmica, a maioria sob encomenda e customizado de acordo com as necessidades dos clientes. A produção adota o sistema modular, a capacidade de produção é baixa e atende ao *make-to-order*.

A montadora “Eletrodomésticos” atua na fabricação de produtos da Linha Branca e compõe a estrutura de uma empresa multinacional, que aplica o conceito da modularidade no desenvolvimento de produtos, mais fortemente em plantas situadas na Europa e nos EUA. Na planta do Brasil, a modularidade vem ganhando espaço devido ao processo de globalização e padronização dos produtos. O sistema de produção caracteriza-se por linhas de montagem, com baixo *takt time* (tempo disponível para a produção dividido pela demanda de mercado), produção em massa para atender à demanda, porém sem capacidade de customização de produtos.

Conforme Sousa e Voss (2001), as principais razões para a escolha das montadoras foram: (i) as empresas tem autonomia para desenvolver projetos locais; (ii) as empresas possuem engenheiros, gestores e diretores que estiveram envolvidos nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos; (iii) as empresas tem fornecedores (sistemistas) para desenvolver módulos e/ou componentes; (iv) possuem cerca de 10 anos de experiência na aplicação da modularidade, e; (v) acessibilidade aos dados para coleta.

Outro fator que conduziu a escolha são os diferentes segmentos de atuação das montadoras. Isso permitiu analisar o modelo proposto em duas condições distintas de produtos, processos e organizações.

O estudo de caso foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu na coleta de dados. Para tanto, foi elaborado um questionário a partir da literatura e considerando também os elementos conceituais do modelo da pesquisa. O questionário foi enviado por *email* para gerentes de produção e de pesquisa e desenvolvimento, com o propósito de coletar informações gerais sobre modularidade, bem como seu foco na aplicação.

O objetivo foi reunir práticas gerais em relação à modularidade que estabeleceriam uma relação preliminar entre MD, PR, PD e OR e quais indicadores são utilizados para medir esses relacionamentos. As perguntas típicas incluíam: (i) a empresa aplica a estratégia da MD ?; (ii) o processo de montagem é simplificado pelo produto modular ?; entre outras.

Em seguida, foi possível ter um entendimento preliminar sobre a aplicação dos conceitos de modularidade nessas empresas, as principais implicações, mudanças, benefícios e desvantagens.

O Quadro 9 ilustra os principais tópicos abordados no questionário, que foi adaptado do trabalho de Kubota (2017) e encontra-se no Apêndice 1 desta tese.

QUADRO 9. TÓPICOS ABORDADOS NO ESTUDO DE CASO APLICADO NAS MONTADORAS.

FONTE: ADAPTADO DE KUBOTA (2017).

Aspectos analisados		Referências
Identificar efeitos e implicações decorrentes das relações causais entre a modularidade do produto e a produção.	Padronização dos processos Agilidade para produzir Flexibilidade para produzir Produtividade da manufatura Capacidade de customizar e postergar a produção Terceirização da montagem Inovação de processos Tempo de desenvolvimento	Brusoni e Prencipe (2011) Jacobs <i>et al.</i> (2011) Chen e Liu (2005) Jacobs <i>et al.</i> (2011) Caniato e Grobler (2015) Carnevalli <i>et al.</i> (2013) Brusoni <i>et al.</i> (2007) Cheng (2011)
Identificar efeitos e implicações decorrentes das relações causais entre a modularidade do produto e a organização.	Unidades de negócios Rede de fornecedores (sistemistas) Cadeia de suprimentos Flexibilidade organizacional Co-desenvolvimento e co-produção	Carnevalli <i>et al.</i> (2015) Wang <i>et al.</i> (2017) Doran <i>et al.</i> (2007) Hoetker (2006) Mc Dermott <i>et al.</i> (2013)
Identificar efeitos e implicações decorrentes das relações causais entre a produção e a organização.	Flexibilidade e agilidade para mudanças (processos; plantas) Limites organizacionais para a modularidade	Hoetker (2006)
Identificar efeitos e implicações decorrentes das relações causais entre a modularidade do produto e o desenvolvimento de produtos modulares.	Terceirização do projeto Customização do produto Agilidade de desenvolvimento Variedade de produtos Capacidade de inovação	Gu e Sosale (1999) Bask <i>et al.</i> (2011) Cheng (2011) Mikkola e Gassmann (2003) Wang <i>et al.</i> (2016)



A segunda etapa foi desenvolvida a partir de uma análise detalhada do ambiente fabril das três montadoras, com os seguintes objetivos: (i) confirmar se as relações causais entre a MD e as áreas estratégicas (PD, PR e OR), identificadas na literatura, ocorrem na prática; (ii) verificar se o modelo proposto está em conformidade com o campo prático e, (iii) operacionalizar a aplicação dos indicadores, identificando quais são utilizados pelas empresas pesquisadas.

O modelo proposto será então ajustado de acordo com as particularidades encontradas em cada estudo de caso e poderá ser utilizado como uma régua niveladora, que determina, por comparação entre os elementos conceituais que constituem o modelo proposto e os elementos conceituais praticados, a taxa de modularidade das montadoras abordadas.

O modelo torna-se uma ferramenta de gestão, pois indica o grau de modularidade de uma empresa, determinado por um padrão testado estatisticamente, indicando oportunidades para o desenvolvimento e produção de produtos modulares, por meio dos elementos conceituais que estão em desalinho com o modelo proposto. No Capítulo 4, Seção 4.3 apresentam-se os resultados e as contribuições decorrentes desta etapa do trabalho.

### **3.3. ABORDAGENS PARA VERIFICAÇÃO DA MODULARIDADE**

Esta etapa consiste fundamentalmente no aperfeiçoamento da visão prática da estratégia modular. Este fato é importante em dois aspectos: de um ponto de vista mais abrangente, busca evidenciar como a modularidade vem sendo abordada por empresas brasileiras. Sob um ponto de vista mais restrito, busca identificar como uma montadora mede a eficiência da modularidade no ambiente industrial.

#### **3.3.1. Avaliação da modularidade em empresas brasileiras**

Esta investigação teve como objetivo identificar como empresas brasileiras estão lidando com a estratégia modular. Entender como as mesmas visualizam aspectos do seu uso em áreas estratégicas e operacionais e dessa maneira apresentar cenários que possibilizem estudos práticos com a MD. Espera-se que os resultados venham a revigorar as justificativas para realização deste trabalho.

Para tanto, foi realizado um levantamento tipo *survey* com o envio de um questionário composto por quatro blocos de assertivas, sendo um para identificar a quantidade de empresas que utilizam a MD e o tempo que a estratégia vem sendo praticada, fornecendo uma visão geral do atual cenário da indústria brasileira em relação ao assunto. O segundo bloco procura entender a percepção dos respondentes sobre os efeitos da MD na produção/processos. O terceiro bloco investiga os efeitos da MD na organização e o quarto bloco procura identificar os efeitos da MD no desenvolvimento de novos produtos. Na análise foi realizada a comparação dos resultados com a literatura, uma vez que as questões foram rastreadas às fontes bibliográficas.

O estudo foi realizado com 300 empresas englobando os segmentos da indústria automotiva, de eletrodomésticos e os fabricantes de máquinas e equipamentos. Foram coletadas 83 respostas consideradas válidas, ou seja, responderam a todos os itens do questionário (taxa de resposta 27,6%). A coleta de dados ocorreu entre os meses de junho e julho de 2019.

O questionário foi criado na plataforma *SurveyMonkey* e o *link* <https://pt.surveymonkey.com/r/77Y2Q27>, enviado para gestores das empresas por meio da rede de relacionamento profissional *LinkedIn*. A plataforma permitiu a gestão diária das respostas recebidas. Os principais resultados são destacados na Seção 4.5 do Capítulo 4 deste trabalho.

### **3.3.2. Indicadores para modularidade**

Nesta fase foi conduzido um estudo de caso por meio de uma análise observacional direta (YIN, 2014), com o objetivo de identificar indicadores não vistos na literatura, além daqueles que usualmente são aplicados na gestão de uma montadora (produtividade, produção, custos operacionais, etc.) e que podem ser utilizados para estruturar o modelo proposto nesta tese.

Por meio de análises comparativas entre produtos com diferentes graus de modularidade foi possível determinar como esses indicadores representam os efeitos da MD em outras áreas, como a produção e o desenvolvimento de produtos. Os indicadores medem a eficiência da MD, ou seja, evidenciam que um produto

com maior grau de modularidade é mais eficiente que outro com menor grau de modularidade.

Esta fase da pesquisa foi realizada em uma montadora da Linha Branca que adota o conceito de modularidade em um movimento para entregar produtos mais inovadores aos clientes. Esta fase também forneceu conhecimento para a construção do modelo, por meio de dados e informações obtidos no campo prático.

A mesma abordagem foi aplicada nas três montadoras (Trator; Máquinas e Equipamentos; Eletrodomésticos) para mapeamento do processo produtivo. Foi possível identificar e entender os impactos e implicações decorrentes da adoção da MD no ambiente industrial e na estrutura organizacional e medir esses resultados por meio dos indicadores.

No Capítulo 4, Seção 4.6 são apresentadas as contribuições dessa etapa da pesquisa, os indicadores mais relevantes e os benefícios estratégicos e gerenciais da modularidade. A Seção 4.3.1 apresenta o mapeamento do processo nas três montadoras.

## 4. RESULTADOS

Este capítulo está dividido em seis partes, conforme mostra a Figura 12.

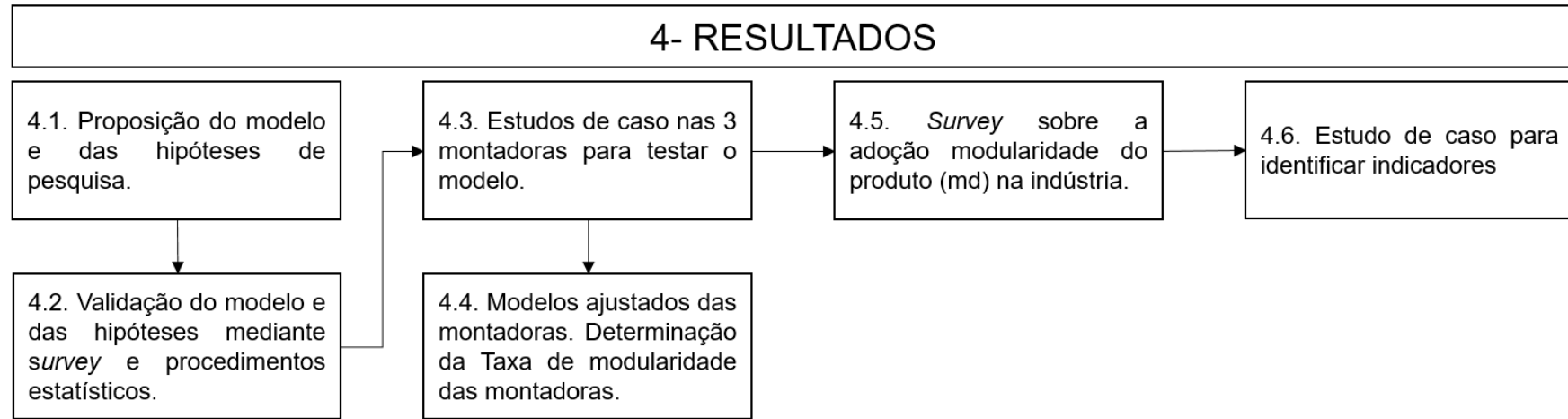


FIGURA 12. SÍNTESE DOS RESULTADOS.

No presente capítulo são analisados e discutidos os resultados obtidos. Apresenta-se o modelo construído a partir das assertivas extraídas da revisão de literatura que relacionam as dimensões MD, PR, PD e OR. Em seguida encontram-se os resultados dos procedimentos estatísticos e da Modelagem de Equações Estruturais para validar ou não as hipóteses de pesquisa bem como o modelo ajustado; retroalimentação do modelo proposto a partir dos resultados da *survey* (assertivas estatisticamente significativas).

Em seguida são aplicados estudos de caso em três montadoras para testar a aplicabilidade do modelo. Os estudos de caso permitem a criação de uma estrutura de acordo com as características de cada montadora. Por comparação entre as estruturas geradas a partir do estudo de caso com o modelo proposto mede-se o nível de modularidade das empresas abordadas. O nível de modularidade pode ser utilizado como um indicador para a tomada de decisões das empresas que venham a utilizar o modelo proposto nesta tese.

Por fim apresentam-se os dados coletados no campo como: (i) *survey* aplicada em empresas da indústria brasileira para entender como a estratégia modular vem sendo tratada no ambiente industrial; (ii) observação da produção de produtos modulares para identificar, por meio de análise comparativa, indicadores utilizados na gestão de uma montadora.

#### **4.1. PROPOSIÇÃO DO MODELO E DAS HIPÓTESES DA PESQUISA**

O objetivo principal é a comprovação de conhecimentos teórico-subjetivos estabelecidos sobre as relações causais presentes no modelo estabelecido a priori. As relações causais foram estabelecidas com base em conhecimentos prévios a respeito do fenômeno em estudo, no caso, a relação entre a modularidade do produto (MD) com o desenvolvimento de produtos (PD), produção (PR) e organização (OR).

O Quadro 10 apresenta as características da MD (MD1...MD4) e os efeitos resultantes da adoção da estratégia modular nas demais áreas, representadas pelas variáveis (PD1...OR5), utilizadas na construção do modelo. Em seguida, uma breve descrição dos efeitos e os autores que abordaram o tema.

QUADRO 10. VARIÁVEIS QUE FORMAM O MODELO.

Item	Variável	Descrição
Características da Modularidade do Produto	MD1	Padronização dos módulos: Agiliza a introdução de novos modelos (MIKKOLA, 2006).
	MD2	Reutilização de módulos: Possibilidade de aproveitamento (ou atualização) de módulos conforme o lançamento de novas versões de um produto (JI <i>et al.</i> , 2013).
	MD3	Comunalidade de módulos: Módulos e componentes comuns a diversos produtos (JACOBS <i>et al.</i> , 2011).
	MD4	Substituição de módulos: Existência de diferentes modelos de um mesmo módulo, a combinação de diferentes módulos resulta em variabilidade para um modelo (HSUAN e HANSEN, 2007).
Efeitos de MD no Desenvolvimento de Produtos (PD) MD -> PD	PD1	Terceirização do projeto: Os módulos podem ser desenvolvidos de forma independente, por fornecedores capacitados (GU e SOSALE, 1999).
	PD2	Customização do produto: Consiste no nível em que o produto pode ser customizado, ou seja, o quanto pode ser ajustado e/ou combinado conforme as necessidades e expectativas do cliente (BASK <i>et al.</i> , 2011).
	PD3	Agilidade de desenvolvimento: Desenvolvimento ágil de novos produtos e a rápida inclusão de novos módulos (ou reutilizáveis) para atender às mudanças nos requisitos do produto (CHENG, 2011).
	PD4	Variedade de produtos: Possibilidade de combinação de diferentes módulos (MIKKOLA e GASSMANN, 2003).
Efeitos de MD na Produção (PR) MD -> PR	PR1	Padronização dos processos: Redução e simplificação das operações na linha principal, pois os módulos são produzidos em sub-montagens (SAKO e MURRAY, 2000).
	PR2	Agilidade de fabricação: Capacidade da produção em reduzir o tempo de resposta às demandas devido à padronização de módulos e processos (JACOBS <i>et al.</i> , 2011).

QUADRO 10. VARIÁVEIS QUE FORMAM O MODELO. “CONTINUAÇÃO”

Item	Variável	Descrição
Efeitos de MD na Produção (PR) MD -> PR	PR3	Terceirização da produção: Fabricação independente dos módulos por fornecedores capacitados (sistemistas) (CARNEVALLI <i>et al.</i> , 2013).
	PR4	Automação dos processos: Possibilidade de automação dos processos devido à padronização de componentes, módulos e interfaces de montagem (BRUSONI <i>et al.</i> , 2007) e pela simplificação dos processos (JACOBS <i>et al.</i> , 2007).
	PR5	Flexibilidade para produzir: Os módulos podem ser montados em diferentes configurações de linha de montagem. Mudança nas ações ou no fluxo de produção (CHEN E LIU, 2005).
	PR6	Capacidade de customizar: Atender à demanda de produtos customizados em uma escala de produção comparável à produção em massa, com custos reduzidos (CANIATO e GROBLER, 2015).
Efeitos de MD na Organização (OR) MD -> OR	OR2	Flexibilidade organizacional: Permite que as empresas reconfigurem suas organizações. Facilita a reorganização do lay-out fabril ou a transferência dos processos de manufatura para outras localidades (novas plantas) para atender as demandas da empresa (HOETKER, 2006).
	OR3	Unidades de negócio: Permite a divisão das operações internas (desenvolvimento e produção) em grupos focados em atividades-chave. Faz com que a empresa desenvolva competências ao longo do tempo no âmbito dos seus diversos processos de negócio (MEYER, 2003; HON, 2005).
	OR4	Cadeia de suprimentos: Simplificação da cadeia de suprimentos pela redução do número de fornecedores (DORAN <i>et al.</i> , 2007). Fornecedores capacitados para atender aos requisitos de desenvolvimento e produção dos módulos (WANG <i>et al.</i> , 2017).
	OR5	Co-desenvolvimento e Co-produção: Permite a transferência de informações no desenvolvimento de produtos/processos, colaborando para o aprimoramento do conhecimento técnico e gerencial dos fornecedores. Transferência de know-how (ASAN <i>et al.</i> , 2008; MC DERMOTT <i>et al.</i> , 2013).

A Figura 13 apresenta o diagrama do modelo construído a partir das variáveis supracitadas, que indicam como ocorrem as relações causais entre as quatro dimensões: MD, PR, PD e OR.

H1: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com a produção/processos de fabricação (PR).

H2: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com a organização (OR).

H3: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com o desenvolvimento de novos produtos (PD).

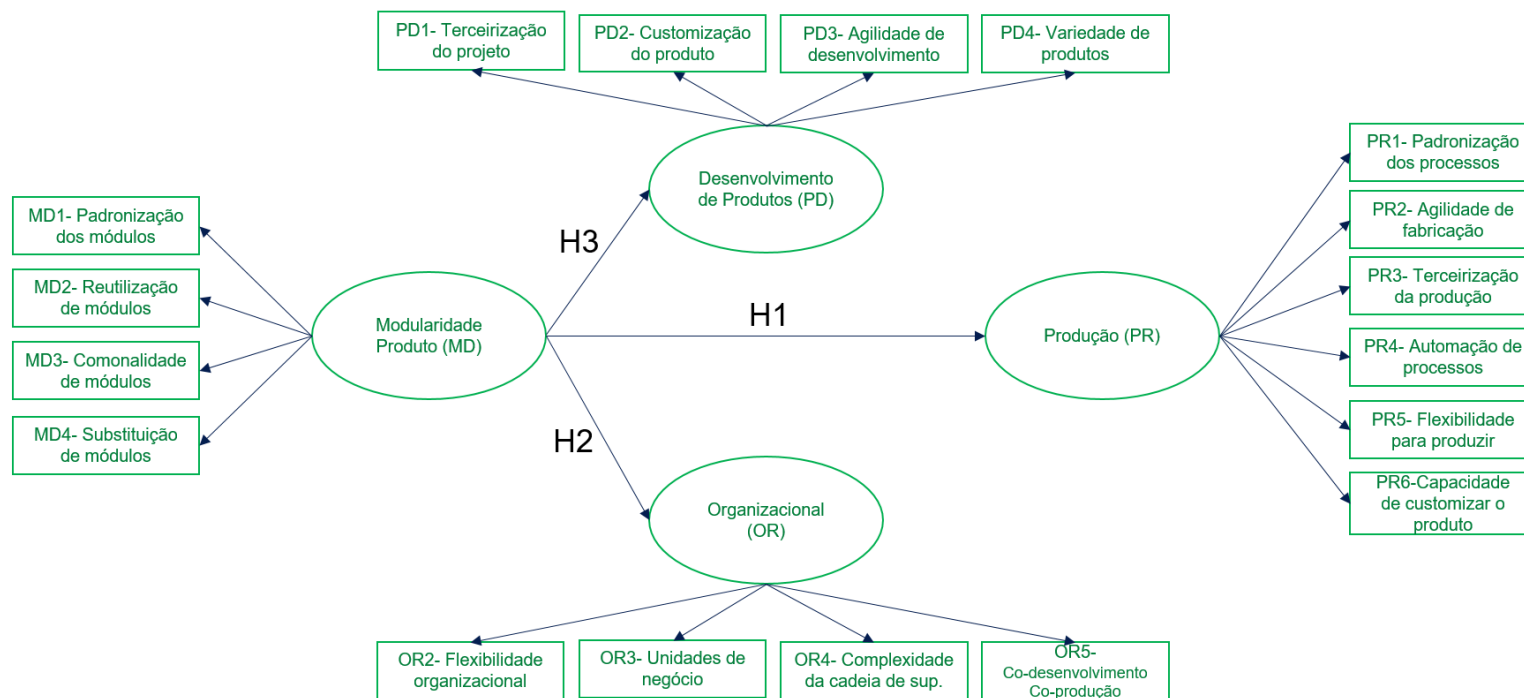


FIGURA 13. MODELO PROPOSTO E HIPÓTESES DE PESQUISA.



#### 4.1.1. Descrição do modelo proposto

De maneira geral, pode-se dizer que um modelo é a representação da realidade, ou de alguns de seus aspectos, com o objetivo de torná-los descritíveis, seja qualitativa ou quantitativamente. No campo da tomada de decisão gerencial, modelos prescritivos (quando orientam o que deve ser feito em cada situação) e descritivos (quando apresentam a realidade como ela é) são de vital importância, sendo que os primeiros ajudam a achar a solução ótima e os outros tratam, de forma mais limitada, o ambiente em que as decisões são tomadas (MACEDO *et al.*, 2007).

O modelo aqui proposto pressupõe que a MD é uma dimensão multifuncional que se relaciona positivamente com outras três dimensões, PR, PD e OR influenciando processos operacionais (padronização de processos; flexibilidade de produção); desenvolvimento de novos produtos (agilidade de desenvolvimento; variedade de produtos; customização); e a organização (rede fornecedores; flexibilidade organizacional).

Em relação à MD alguns autores citam os resultados de sua adoção nas demais áreas.

Garud e Kumaraswamy (1996) afirmam que a reutilização, a combinação e a padronização de módulos são características da MD. O reuso de componentes é possível quando o produto é modularmente atualizável, ou seja, quando a integração de novos componentes dentro de um sistema é facilitada, sem que ocorra alteração do projeto.

No mesmo sentido Krikke *et al.* (2004) citam que a reutilização de módulos pode trazer benefícios econômicos e ao meio ambiente. Geum *et al.* (2012) sugerem que a reutilização de módulos reduz o *lead time* (tempo) de desenvolvimento de novos produtos.

Sobre a oferta ao mercado, Starr (1965); Sako e Murray (2000); Chen e Liu (2005); Cardoso e Kistmann (2008); Liu *et al.* (2010) declaram que quanto maior a variedade módulos, maior a possibilidade de oferecer ao cliente uma diversidade de produtos diferenciados e customizados.

Sobre a produção, autores citam a influência de MD nos processos operacionais como a padronização de processos e a flexibilidade da produção. Para Brusoni *et al.* (2007) e Kubota (2017), a modularidade do produto (MD) conduz à modularidade da produção (MP).

Para Starr (1965) e Jacobs *et al.* (2007), a padronização dos módulos minimiza a variabilidade dos processos, permite a padronização de estações de montagem (dispositivos; equipamentos), a adoção de sub-montagens, e o emprego da automação. Mikkola (2006) cita que a padronização dos módulos agiliza a introdução de novos modelos.

Em relação à flexibilidade, Murtaza *et al.* (1993) reitera que o produto modular permite a configuração tardia do produto possibilitando a customização dos produtos nos estágios finais da montagem ou até mesmo fora da linha principal. A produção modular facilita mudanças rápidas de volumes e de *mix* de produtos, além de viabilizar a fabricação de ampla variedade de produtos (CHEN e LIU, 2005; FREDRIKSSON e GADDE, 2005; HOETKER, 2006; ASAN *et al.*, 2008; BASK *et al.*, 2011; CHENG, 2011).

Newcomb *et al.* (1998) citam que a modularidade do produto permite a fabricação independente dos módulos em sub-montagens e viabiliza a terceirização da produção. Dessa maneira pode-se concluir que a MD simplifica os processos internos de produção e possibilita a desintegração da empresa (SANCHEZ e MAHONEY, 1996; GU e SOSALE, 1999; BRUSONI *et al.*, 2007; SHAMSUZZOHA *et al.*, 2010; CARNEVALLI *et al.*, 2013).

A co-produção de módulos e componentes comuns e padronizados por empresas participantes de um consórcio modular, pode gerar entre as mesmas, além da difusão do conhecimento, a redução de custos de transações e impactos positivos nas empresas como, a redução de inventário e a otimização da logística na cadeia de suprimentos (STAUDENMAYER *et al.*, 2005; MC DERMOTT *et al.*, 2013; SACOMANO e TRUZZI, 2009).

Para alguns autores, a adoção da estratégia modular estreita a relação entre montadoras e fornecedores.

Tratando-se de terceirização, tanto do projeto quanto da produção, a mesma pode influenciar decisões sobre a estrutura organizacional como a substituição de fornecedores que não tenham capacidade para atender aos requisitos do produto modular (ZIRPOLI e BECKER, 2011).

Sanchez (2000); Morris *et al.* (2004); Salerno *et al.* (2008); Brusoni e Prencipe (2011); Lau (2011) sustentam que a terceirização ou o co-desenvolvimento do projeto modular possibilita troca de informações entre a montadora e os fornecedores, contribuindo para o aumento do nível de conhecimento e para o aperfeiçoamento das capacidades técnicas e operacionais dos fornecedores.

Neste seguimento, Sacomano (2009) reitera que as redes de fornecedores, caracterizadas pelo consórcio modular, promovem canais de difusão e transferência de conhecimentos técnicos e gerenciais entre a montadora e os sistemistas.

Em relação aos impactos na estrutura organizacional das empresas que adotam a estratégia modular, alguns autores focam na rede de fornecedores e na capacidade de adaptação das empresas.

Para Hoetker (2006) e Worren *et al.* (2002), a modularidade do produto aumenta a capacidade de reconfiguração das organizações e possibilita que as várias unidades envolvidas nos processos possam operar de forma autônoma. A modularidade do produto permite às empresas mover suas atividades (terceirização) para fora da hierarquia (flexibilidade).

Em contrapartida, Fredriksson e Gadde (2005) citam que os sistemistas, para atender à demanda de modularização e customização dos produtos da montadora, precisam de recursos coesivos, dispor de atividades não essenciais e praticar atividades que irão melhorar as capacidades operacionais.

Dessa forma, com base nos conceitos apresentados na revisão de literatura acerca dos efeitos e implicações decorrentes da adoção da modularidade do produto, consideram-se as seguintes hipóteses de pesquisa:

H1: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com a produção/processos de fabricação (PR).

H2: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com a organização (OR).

H3: A modularidade do produto (MD) relaciona-se positivamente com o desenvolvimento de novos produtos (PD).

## **4.2. VALIDAÇÃO DO MODELO E DAS HIPÓTESES DE PESQUISA**

Nesta etapa são apresentados os resultados obtidos a partir da análise de um conjunto de dados contendo o grau de concordância de indivíduos acerca de questões tratando quatro dimensões: modularidade do produto (MD); desenvolvimento de produtos (PD); produção (PR); e organizacional (OR).

A análise está dividida em duas partes. Na primeira, as dimensões são validadas, isto é, determina-se se os itens dessas dimensões estão de fato mensurando o mesmo objeto. Na segunda parte, seguindo a metodologia aplicada por Jabbour *et al.* (2012), por meio de um modelo de equações estruturais, as hipóteses de interesse da pesquisa foram testadas. Foram considerados 90 respondentes (empresas) que responderam a todos os itens do questionário aplicado na *survey*. Todas as análises foram realizadas utilizando o software estatístico R (TEAM, 2018).

### **4.2.1. Validação das dimensões**

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da validação das dimensões desenvolvimento de produtos, produção e organizacional. A dimensão modularidade do produto não foi validada, pois considerou-se como medida dessa dimensão a média das respostas nos itens da dimensão. Para cada dimensão, independentemente, foi realizada uma análise fatorial com rotação *varimax*. Nesse primeiro procedimento, os principais indicadores de qualidade estatística para cada dimensão foram:

- i. Comunalidades das variáveis, que explica a aderência de uma dada variável aos diversos fatores de uma análise fatorial.

- ii. Diagonal principal da Matriz Anti-Imagem, que deve apresentar valores acima de 0,6 (JABBOUR *et al.*, 2012).
- iii. Adequação da amostra para cada fator individual pelo teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). O teste KMO verifica o valor da correlação entre as variáveis e, se o valor for insuficiente, isto é, o teste KMO próximo de zero, a utilização da análise fatorial pode ser considerada inadequada. Por outro lado, se esse valor for próximo a um, a análise fatorial poderá ser empregada (VIANA, 2005).
- iv. Cálculo do Alfa de Cronbach para cada fator. O Alfa de Cronbach é usado para medir a confiabilidade dos construtos. Entende-se por confiabilidade a medida da consistência interna das respostas entre os respondentes para uma única variável (KLINE, 2005).
- v. Teste Bartlett de Esfericidade. O Bartlett testa a hipótese de a matriz de correlação ser a matriz identidade, cujo determinante é igual a um (PESTANA e GAGEIRO, 2003). Tal teste é utilizado para analisar a matriz de correlação como um todo.
- vi. A variância acumulada explicada.

Realizou-se também, para cada variável, o teste de coeficientes de correlação de Pearson no qual se verifica que todas as variáveis apresentam correlações significativas.

#### **4.2.2. Desenvolvimento de produtos (PD)**

A Tabela 1 apresenta a média e o desvio-padrão das respostas em cada item da dimensão desenvolvimento de produtos (PD) e a Tabela 2 a correlação entre os itens dessa dimensão. A Tabela 3 apresenta as cargas e comunalidades dos itens dessa dimensão. Observa-se na Tabela 3 que as cargas são maiores do que 0,45 e as comunalidades maiores do que 0,20, o que são valores razoáveis.

O autovalor do primeiro fator foi 1,56 (maior do que um) e os valores da diagonal da Matriz Anti-Imagem maiores do que 0,6 (0,81;0,66;0,81;0,67). No Teste KMO obtivemos um valor de 0,71, o que é considerado alto e indica que os itens aderem bem a um fator (dimensão).

O Alfa de Cronbach para essa dimensão foi 0,7, que é um valor aceitável para a consistência interna da dimensão. No Teste de Esfericidade de Bartlett obtive-se um valor de 63,25 com uma significância estatística de 1% ( $p < 0,01$ ), o que é indicativo de uma análise fatorial adequada. Por fim, um fator explica 39% da variância dos itens.

Baseado nessas medidas, concluí-se que a escala desenvolvimento de produtos (PD) é adequada. Embora aja um item com baixa carga/comunalidade, as outras medidas estão dentro do padrão, logo não se é necessário excluí-lo da dimensão.

TABELA 1. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO PD.

ITEM	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
PD1	4,33	0,94
PD2	4,45	0,88
PD3	4,42	0,89
PD4	4,11	1,09

TABELA 2. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO PD.

ITEM	PD1	PD2	PD3	PD4
PD1	1	0,34***	0,24**	0,31***
PD2		1	0,35***	0,57***
PD3			1	0,36***
PD4				1***

\*\*\*Significante a 1%

TABELA 3. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO PD.

ITEM	CARGAS	COMUNALIDADE
PD1	0,45	0,20
PD2	0,76	0,58
PD3	0,49	0,24
PD4	0,74	0,54

### 4.2.3. Produção (PR)

A Tabela 4 apresenta a média e o desvio-padrão das respostas em cada item da dimensão Produção e a Tabela 5 a correlação entre os itens dessa dimensão. A Tabela 6 apresenta as cargas e comunalidades dos itens dessa dimensão. Observa-se na Tabela 6 que as cargas são maiores do que 0,62 e as comunalidades maiores do que 0,38, o que é um resultado bom.

O autovalor do primeiro fator foi 2,91 (maior do que um) e os valores da diagonal da Matriz Anti-imagem maiores do que 0,6 (0,75;0,80;0,82;0,71;0,67;0,65). No Teste KMO obtivemos um valor de 0,73, o que é considerado alto e indica que os itens aderem bem a um fator (dimensão).

O Alfa de Cronbach para essa dimensão foi 0,85, que é um valor alto para a consistência interna da dimensão. No Teste de Esfericidade de Bartlett obtivemos um valor de 231 com uma significância estatística de 1% ( $p < 0,01$ ), o que é indicativo de uma análise fatorial adequada. Por fim, um fator explica 49% da variância dos itens. Baseado nessas medidas, concluí-se que a escala Produção (PR) é adequada.

TABELA 4. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO PR.

ITEM	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
PR1	4,37	0,90
PR2	4,21	0,89
PR3	4,02	0,93
PR4	4,31	0,85
PR5	4,02	0,94
PR6	4,09	0,90

TABELA 5. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO PR.

ITEM	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6
PR1	1	0,59***	0,34***	0,64***	0,37***	0,56***
PR2		1	0,44***	0,64***	0,35***	0,49***
PR3			1	0,51***	0,57***	0,34***
PR4				1	0,49***	0,35***
PR5					1	0,56***
PR6						1***

\*\*\*Significante a 1%

TABELA 6. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO PR.

ITEM	CARGAS	COMUNALIDADE
PR1	0,73	0,54
PR2	0,73	0,54
PR3	0,62	0,38
PR4	0,78	0,61
PR5	0,65	0,43
PR6	0,65	0,42

#### 4.2.4. Organizacional (OR)

A Tabela 7 apresenta a média e o desvio-padrão das respostas em cada item da dimensão organizacional e a Tabela 8 a correlação entre os itens dessa dimensão. A Tabela 9 apresenta as cargas e comunalidades dos itens dessa dimensão. Observa-se na Tabela 9 que as cargas são maiores do que 0,65 e as comunalidades maiores do que 0,42.

O autovalor do primeiro fator foi 2,14 (maior do que um) e os valores da diagonal da Matriz Anti-imagem maiores do que 0,6(0,78;0,75;0,83;0,83 ). No Teste KMO obtivemos um valor de 0,79, o que é considerado alto e indica que os itens aderem bem a um fator (dimensão).



O Alfa de Cronbach para essa dimensão foi 0,82, que é um valor alto para a consistência interna da dimensão. No Teste de Esfericidade de Bartlett obtivemos um valor de 118 com uma significância estatística de 1% ( $p < 0,01$ ), o que é indicativo de uma análise fatorial adequada. Por fim, um fator explica 54% da variância dos itens. Baseado nessas medidas, concluí-se que a escala organizacional (OR) é adequada.

TABELA 7. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO OR.

ITEM	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
OR2	4,26	0,91
OR3	4,10	0,89
OR4	4,17	0,92
OR5	4,37	0,79

TABELA 8. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO OR.

ITEM	OR2	OR3	OR4	OR5
OR2	1	0,62***	0,45***	0,53***
OR3		1	0,55***	0,56***
OR4			1	0,48***
OR5				1***

\*\*\*Significante a 1%

TABELA 9. CARGA E COMUNALIDADE DOS ITENS DA DIMENSÃO OR.

ITEM	CARGAS	COMUNALIDADE
OR2	0,74	0,54
OR3	0,83	0,68
OR4	0,65	0,42
OR5	0,71	0,50

#### 4.2.5. Modularidade do produto (MD)

A Tabela 10 apresenta a média e o desvio-padrão das respostas em cada item da dimensão modularidade do produto e a Tabela 11 a correlação entre os itens dessa dimensão.

TABELA 10. MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS ITENS DA DIMENSÃO MD.

ITEM	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MD1	4,55	0,54
MD2	4,13	0,66
MD3	4,44	0,75
MD4	3,98	0,90

<sup>4\*\*</sup>Significante a 1%

TABELA 11. CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS ITENS DA DIMENSÃO MD.

ITEM	MD1	MD2	MD3	MD4
MD1	1	0,14	0,38***	0,19*
MD2		1	0,18*	0,18*
MD3			1	0,18*
MD4				1***

<sup>5</sup>Significante a 10%.

A Tabela 12 apresenta a correlação entre todos os itens da pesquisa.

TABELA 12: CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE TODOS OS ITENS.

ITEM	MD1	MD2	MD3	MD4	PD1	PD2	PD3	PD4	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	OR2	OR3	OR4	OR5	
<b>MD1</b>	1	0,14	0,38***	0,19*	0,29***	0,07	0,27***	0,05	0,3***	0,37***	0,34***	0,36***	0,35***	0,39***	0,31***	0,28***	0,27**	0,42***	
<b>MD2</b>		1	0,18*	0,18*	0,18*	0,05	0	0,14	-0,1	-0,03	0,35***	0,11	0,21**	0,09	0,24**	0,3***	0,3***	0,32***	
<b>MD3</b>			1	0,18*	0,28***	-0,11	0,01	-0,21**	0,13	0,16	-0,01	0,17	-0,01	0,16	0,26**	0,19*	0,27**	0,18*	
<b>MD4</b>				1	0,28***	0,3***	0,39***	0,29***	0,3***	0,56***	0,35***	0,31***	0,28***	0,46***	0,3***	0,44***	0,21**	0,46***	
<b>PD1</b>					1	0,34***	0,24**	0,31***	0,42***	0,23**	0,47***	0,33***	0,43***	0,41***	0,3***	0,27***	0,48***	0,39***	
<b>PD2</b>						1	0,35***	0,57***	0,16	0,17	0,24**	0,3***	0,56***	0,36***	0,19*	0,27***	0,2*	0,23**	
<b>PD3</b>							1	0,36***	0,26**	0,42***	0,46***	0,41***	0,34***	0,19*	0,17	0,2*	0,05	0,44***	
<b>PD4</b>								1	0,1	0,16	0,43***	0,22**	0,58***	0,28***	0	0,27**	0,14	0,19*	
<b>PR1</b>									1	0,59***	0,34***	0,64***	0,37***	0,56***	0,45***	0,35***	0,39***	0,41***	
<b>PR2</b>										1	0,44***	0,64***	0,35***	0,49***	0,54***	0,49***	0,29***	0,49***	
<b>PR3</b>											1	0,51***	0,57***	0,34***	0,29***	0,46***	0,37***	0,62***	
<b>PR4</b>												1	0,49***	0,35***	0,47***	0,36***	0,32***	0,54***	
<b>PR5</b>													1	0,56***	0,35***	0,35***	0,27**	0,42***	
<b>PR6</b>														1	0,5***	0,57***	0,5***	0,46***	
<b>OR2</b>															1	0,62***	0,45***	0,53***	
<b>OR3</b>																1	0,55***	0,56***	
<b>OR4</b>																	1	0,48***	
<b>OR5</b>																			1***

#### 4.2.6. Modelagem de Equações Estruturais (SEM)

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir do ajuste de um modelo de equações estruturais a fim de testar as hipóteses de interesse da pesquisa. O modelo foi ajustado utilizando o pacote lavaan do software R (ROSSEEL, 2012).

Devido ao grande número de itens por dimensão, em relação ao tamanho da amostra observada, e a fim de obter modelos melhor ajustados, foi aplicada a técnica de Item *Parceling* (MATSUNAGA, 2008), que consiste em criar novas variáveis indicadoras das dimensões pelo cálculo da média ou soma dos itens referentes a cada dimensão. A fim de realizar Item *Parceling*, foram consideradas duas variáveis como indicadoras de cada dimensão.

Na dimensão PD foram consideradas as variáveis:

- i.  $PD1 = (PD1 + PD4)/2$
- ii.  $PD2 = (PD2 + PD3 + PD5)/3$

Na dimensão PR foram consideradas as variáveis:

- iii.  $PR1 = (PR1 + PR6 + PR4)/3$
- iv.  $PR2 = (PR2 + PR3 + PR5)/3$

Na dimensão OR foram consideradas as variáveis:

- v.  $OR1 = (OR2 + OR4)/2$
- vi.  $OR2 = (OR3 + OR5)/2$

Para interpretar os resultados de um modelo de equações estruturais, primeiramente é preciso determinar se ele está bem ajustado (*Goodness-of-Fit*). Para tanto, foram consideradas as medidas de qualidade do ajuste presentes na Tabela 13. As medidas de qualidade do ajuste são descritas a seguir.

- i. CFI: O CFI (Índice de Ajuste Comparativo - *Comparative Fit Index*) analisa o ajuste do modelo estudando, a discrepância entre os dados observados e o modelo proposto. O CFI varia entre 0 e 1, com valores próximos de 1 indicando que o modelo está bem ajustado. O valor do CFI que representa um modelo “bem ajustado” varia de área para área, podendo ser maior do que 0,9 ou maior do que 0.95.

- ii. GFI: O GFI (Índice de Qualidade de Ajuste - *Goodness of Fit Index*) mensura o ajuste entre a matriz de covariâncias do modelo proposto e a matriz de covariâncias observada. O GFI varia entre 0 e 1, sendo que valores próximos de 1 indicam que o modelo está bem ajustado. Geralmente, um modelo com GFI maior do que 0.9 é considerado como bem ajustado.
- iii. RMSEA: A RMSEA (Raiz Quadrada Média do Erro de Aproximação - *Root Mean Square Error of Approximation*) analisa a discrepância entre a matriz de covariâncias do modelo proposto e a matriz de covariâncias populacional. A RMSEA varia entre 0 e 1, com valores pequenos indicando que o modelo está bem ajustado. Normalmente, um valor da RMSEA menor do que 0,10 é indicativo de um modelo bem ajustado.
- iv. TLI: O TLI (Índice de Tucker Lewis - *Tucker Lewis Index*) compara o modelo proposto com o modelo nulo (sob a hipótese de independência). O valor do TLI representa a melhora que temos no ajuste do modelo quando passamos do modelo independente para o proposto. O TLI é maior do que zero, e altos valores são indícios de um modelo bem ajustado. Um TLI acima de 0,9, por exemplo, é indício de que o modelo está bem ajustado.
- v. IFI: O IFI (Índice de Ajuste Incremental Bolleano - *Bollen's Incremental Fit Index*) é análogo ao TLI, comparando o modelo proposto com o modelo nulo (sob hipótese de independência). Um IFI acima de 0.9, por exemplo, é indício de que o modelo está bem ajustado.

TABELA 13. MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE DO MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS AJUSTADO COM ITEM PARCELING.

<b>GOODNESS OF FIT</b>	<b>VALOR</b>
<b>CFI</b>	0,973
<b>GFI</b>	0,949
<b>RMSEA</b>	0,102
<b>TLI</b>	0,938
<b>IFI</b>	0,974

Observando a Tabela 13, nota-se que todas as medidas da qualidade de ajuste apontam para um modelo bem ajustado. Desta forma, considerando o modelo como

bem ajustado, a próxima etapa foi interpretar os seus resultados. A Tabela 14 apresenta os parâmetros estimados do modelo e as seguintes informações:

- i. Parâmetro: Qual é o parâmetro do modelo que está sendo estudado. O símbolo  $\rightarrow$  significa que o parâmetro é o coeficiente do Modelo de Regressão correspondente. Já o símbolo  $\leftrightarrow$  significa a covariância entre as variáveis. Quando não há símbolo, temos a variância de cada variável.
- ii. Estimativa: Parâmetro estimado pelo modelo.
- iii. Erro padrão: Erro padrão do respectivo parâmetro.
- iv. t: Valor t da respectiva estimativa.
- v. p: P-valor do teste que determina se certa estimativa é diferente de zero. Se menor que 0,1, então diferente de zero a uma significância de 10%. Temos que \*\*\* significa que o p-valor é menor do que 0,01.
- vi. Cargas Padronizadas: Estimativa padronizada dos parâmetros do modelo.

Em um modelo bem ajustado espera-se que:

- i. Todas as Cargas Padronizadas das variáveis indicadoras (parcelas) com sua dimensão sejam maiores do que 0,5, sendo preferencialmente maiores do que 0,7.
- ii. Todas as relações entre as variáveis indicadoras (parcelas) e suas respectivas dimensões sejam significativas.

TABELA 14. PARÂMETROS DO MODELO AJUSTADO.

PARÂMETROS	ESTIMATIVA	ERRO-PADRÃO	t	p	CARGAS PADRONIZADAS	H
MD -> MDS	1,000	0,000			1,000	
PD -> PD_1	1,000	0,000			0,790	
PD -> PD_2	0,823	0,141	5,848	0,000	0,735	
PR -> PR_1	1,000	0,000			0,792	
PR -> PR_2	1,168	0,128	9,104	0,000	0,917	
OR -> OR_1	1,000	0,000			0,783	
OR -> OR_2	1,130	0,133	8,485	0,000	0,928	
MD -> PD	0,026	0,167	0,157	0,875	0,037	H3
MD -> PR	0,038	0,274	0,137	0,891	0,047	H1
MD -> OR	0,426	0,162	2,630	0,009	0,569	H2
MDS	0,000	0,000			0,000	
PD_1	0,251	0,068	3,677	0,000	0,376	
PD_2	0,241	0,053	4,555	0,000	0,460	
PR_1	0,194	0,036	5,316	0,000	0,372	
PR_2	0,084	0,033	2,580	0,010	0,159	
OR_1	0,233	0,045	5,142	0,000	0,387	
OR_2	0,075	0,038	1,957	0,050	0,138	
MD	0,125	0,020	6,150	0,000	0,605	
PD	0,417	0,109	3,829	0,000	1,000	
PR	0,327	0,076	4,317	0,000	1,000	
OR	0,368	0,088	4,188	0,000	1,000	
PD <->PR	0,295	0,066	4,450	0,000	0,798	
PD <->OR	0,207	0,061	3,397	0,001	0,528	
PR <->OR	0,275	0,062	4,471	0,000	0,794	

Observa-se na Tabela 14 que todas as cargas padronizadas das relações entre variáveis indicadoras (parcelas) e sua dimensão são maiores do que 0,73, e que as relações entre as variáveis indicadoras (parcelas) e suas respectivas dimensões são significativas (diferentes de zero). Dessa forma pode-se concluir que as variáveis indicadoras das três escalas validadas estão relacionadas com as suas respectivas dimensões como dita a teoria.

As relações que representam as hipóteses da pesquisa estão na última coluna da tabela. Observa-se que, a uma significância de 5%, apenas a hipótese 2 (relação entre MD e OR) é válida. Entretanto, observa-se que as escalas, organizacional (OR), produção (PR) e desenvolvimento de produtos (PD) são altamente correlacionadas, o que pode ter causado o fato de apenas uma delas estar relacionada com a modularidade do produto.

Em outras palavras, dentre as hipóteses da pesquisa, se confirmou apenas a hipótese 2, já que há correlação positiva (0,57) é estatisticamente significativa ( $p = 0,01$ ) entre as dimensões organizacional (OR) e modularidade do produto (MD). Correlação positiva significa que quanto maior for a modularidade do produto, maior tende a ser a organizacional (e vice-versa).

Como observou-se que há correlação estatisticamente significativa entre as dimensões desenvolvimentos de produto (PD), produção (PR) e organizacional (OR), pode ser que o modelo ajustado sofra de multicolinearidade, que ocorre quando as variáveis que buscam explicar uma outra (nesse caso essas dimensões buscam explicar a modularidade do produto) estão correlacionadas.

Se de fato houver multicolinearidade, pode acontecer de a correlação entre essas dimensões e a modularidade do produto sejam influenciadas e não expressem exatamente a realidade, de forma a não serem significativas quando deveriam, ou vice-versa. Esse fato não invalida o estudo, mas há a necessidade de estudar mais a fundo a relação entre as variáveis aqui consideradas em estudos futuros para análise da relação entre as variáveis aqui consideradas (HAIR *et al.*, 2005).

Por fim, foi determinada a confiabilidade do modelo, através da AVE (Variância Média Extraída), Confiabilidade Composta e Alfa de *Cronbach*, que são medidas da validade da escala. Temos uma escala válida se:

- i. A AVE de uma dimensão é maior do que 0,5.
- ii. A Confiabilidade Composta de cada dimensão é maior do que 0,7.
- iii. O Alfa de Cronbach é próximo de um.



TABELA 15. MEDIDAS DE CONFIABILIDADE DO MODELO AJUSTADO.

MEDIDA	PD	PR	OR
<b>ALFA DE CRONBACH</b>	0,73	0,84	0,84
<b>CONFIABILIDADE COMPOSTA</b>	0,74	0,85	0,84
<b>AVE</b>	0,59	0,74	0,73

Quando da utilização de equações estruturais, Chin e Newsted (1999) recomendam que a verificação da confiabilidade da variável latente seja realizada com base na confiabilidade composta da variável, e não no alfa de *Cronbach*. Indicadores de boa qualidade para o modelo proposto foram alcançados em termos de variância média extraída (validade convergente), confiabilidade composta e Alfa de *Cronbach*, para as 3 dimensões, PD, PR e OR.

A Tabela 15 apresenta as medidas de confiabilidade. O R<sup>2</sup> da modularidade do produto (MD) foi 0,39, o que significa que as três dimensões explicam 39% da variância da modularidade do produto (MD). A partir desses valores é possível concluir a validade das escalas. Pode-se constatar, que a confiabilidade composta se mostrou satisfatória em todas as variáveis, apresentando valores superiores a 0,7, valor mínimo recomendado por Chin e Newsted (1999).

A verificação da validade convergente foi feita por meio da variância média extraída (AVE). Os valores de Variância Média Extraída são superiores a 0,5 valor mínimo recomendado por Chin e Newsted (1999) e Foltz *et al.* (2008). Os coeficientes de Alfa de *Cronbach* também são considerados adequados. A partir desses valores é possível afirmar a validade das escalas.

A validade convergente testa a relação de um indicador com outros indicadores da mesma variável latente e reflete diferenças reais nas características dos indicadores que estão sendo medidos (GONÇALVES FILHO *et al.*, 2004). Os cálculos da AVE e da confiabilidade composta são feitos por meio dos pesos padronizados carregados nas variáveis latentes durante a análise fatorial confirmatória (HAIR *et al.*, 2005). A Figura 14 apresenta o diagrama do modelo ajustado. Os valores representam as cargas padronizadas do modelo.

#### 4.2.7. Modelo ajustado

A análise do modelo apresentado na Figura 14 permite notar que existe uma relação entre os objetos do modelo. As cargas padronizadas são medidas das relações entre os objetos do modelo. Por exemplo, a carga padronizada da linha PD -> PD\_1 representa o quanto a parcela PD\_1 (formada pelas variáveis PD1: terceirização do desenvolvimento do produto e PD4: variedade de produtos pela combinação de módulos) com carga padronizada média de (0,79) está relacionada à dimensão PD (quanto mais próximo de um, mais relacionada está).

O mesmo ocorre para todas as outras relações do modelo: PD -> PD\_1 (0,79); PD -> PD\_2 (0,73); PR -> PR\_1 (0,79); PR -> PR\_2 (0,92); OR -> OR\_1 (0,78); OR -> OR\_2 (0,93). Trata-se, portanto, de uma confirmação do efeito positivo direto das relações entre as variáveis. Ainda, as cargas padronizadas das linhas PD <-> PR (0,80), PD <-> OR (0,53) e PR <-> OR (0,79) representam a correlação entre as variáveis.

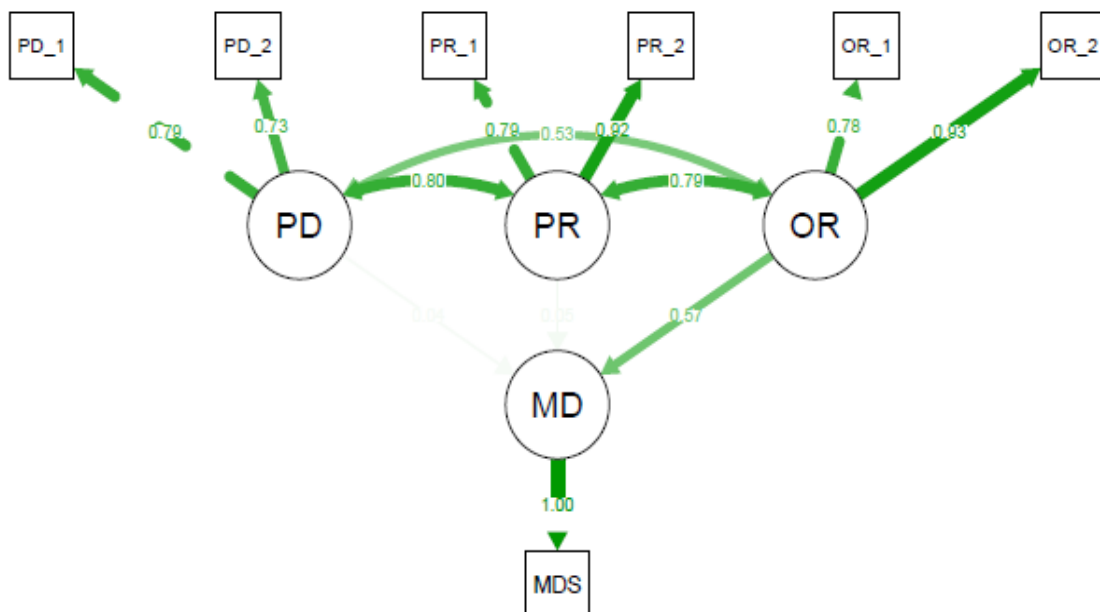


FIGURA 14. PARÂMETROS PADRONIZADOS DO MODELO AJUSTADO.

### 4.3. ESTUDOS DE CASO NAS MONTADORAS

Dentre os benefícios principais da condução de um estudo de caso estão a possibilidade do desenvolvimento de nova teoria e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos, além de que muitos conceitos contemporâneos na gestão de operações e engenharia de produção foram desenvolvidos por meio de estudo de caso (SOUZA, 2005).

Esta etapa consiste na aplicação dos estudos de caso em 3 montadoras sendo, uma do segmento automotivo agrícola (Trator), uma do segmento de equipamentos industriais (Máquinas e Equipamentos) e a terceira, do segmento de eletrodomésticos (Eletrodomésticos). O objetivo foi verificar se o modelo está em concordância com a realidade prática. Buscou-se realizar uma análise aprofundada nas montadoras, para aprimorar o conhecimento prático e teórico sobre a adoção da estratégia modular. As fontes de evidências constituem-se em toda a documentação, registro, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

A primeira tarefa foi enviar um questionário (Apêndice 1) para obter informações gerais sobre a adoção da modularidade nas empresas investigadas. A partir das respostas, foi possível entender os objetivos das empresas na aplicação da modularidade e as principais implicações, benefícios, desvantagens e indicadores utilizados para medir a eficiência dos produtos modulares.

Os entrevistados de cada empresa foram cuidadosamente selecionados, pois, segundo Bardin (1977), a seleção adequada dos entrevistados aumenta a qualidade dos dados. Assim, foram selecionadas as seguintes pessoas: (i) montadora (Trator): atualmente atuando como gerente de produção, com mais de 20 anos de experiência nas áreas de gestão industrial e de projetos de produtos, além de exercer a docência em cursos de Engenharia de Produção e Mecatrônica Industrial; (ii) montadora (Máquinas e Equipamentos): CEO (Diretor Geral - *Chief Executive Officer*) com mais de 30 anos de experiência atuando nas áreas de gestão de projetos e gestão industrial além de exercer a docência como professor associado na área de engenharia em universidade dos EUA; (iii) montadora (Eletrodomésticos): gerente de desenvolvimento de novos produtos com mais de

20 anos de experiência, atuando como gestor das áreas de desenvolvimento de novos produtos e manufatura.

Essas pessoas foram selecionadas por possuírem um profundo conhecimento sobre o desenvolvimento de novos produtos e os processos de produção em suas respectivas empresas. Dois dos entrevistados além de possuírem vasta experiência na indústria também exercem a docência nas áreas de engenharia e gestão. O questionário foi validado por esses dois especialistas. Isso permitiu ter quantidade adequada de informações para serem analisadas posteriormente.

A segunda tarefa foi visitar as montadoras com o objetivo de mapear o processo desde o desenvolvimento do produto, produção e expedição, buscando identificar quais os efeitos da modularidade e quais os indicadores utilizados para medir esses efeitos em cada etapa do processo.

O mapeamento de processos é uma maneira de se colocar um processo em forma de um diagrama que possa ser projetado, avaliado e redesenhado, se necessário (CHEUNG e BAL, 1998). Segundo Mello e Salgado (2005), o mapeamento de cada processo deve ser realizado para se visualizar as diferentes etapas e tarefas em uma sequência cronológica, pois para se melhorar um processo é necessário primeiramente visualizá-lo.

Por fim, esta análise possibilitou retroalimentar o modelo, criando uma estrutura para cada montadora abordada e dessa maneira, por meio de comparação com o modelo proposto, determinar o nível de modularidade de cada montadora.

#### **4.3.1. Resultados e discussões dos estudos de caso**

Esta seção descreve os resultados decorrentes da adoção da modularidade do produto (MD) sobre o desenvolvimento de produtos (PD), a produção (PR) e a organização (OR). As Figuras 15, 16 e 17 apresentam o mapeamento nas três montadoras, que proporcionou uma visão geral sobre as áreas supracitadas. Em cada etapa foi verificado se as assertivas do modelo eram praticadas e quais os indicadores utilizados para medir os efeitos da modularidade. Em seguida são apresentados os resultados obtidos na aplicação do questionário que identificam os efeitos da modularidade nas áreas abordadas.

Áreas estratégicas e operacionais da montadora (Trator) afetadas pela modularidade. As caixas em branco indicam as atividades realizadas em cada área. As caixas em rosa apresentam os indicadores utilizados para medir a eficiência do produto modular.

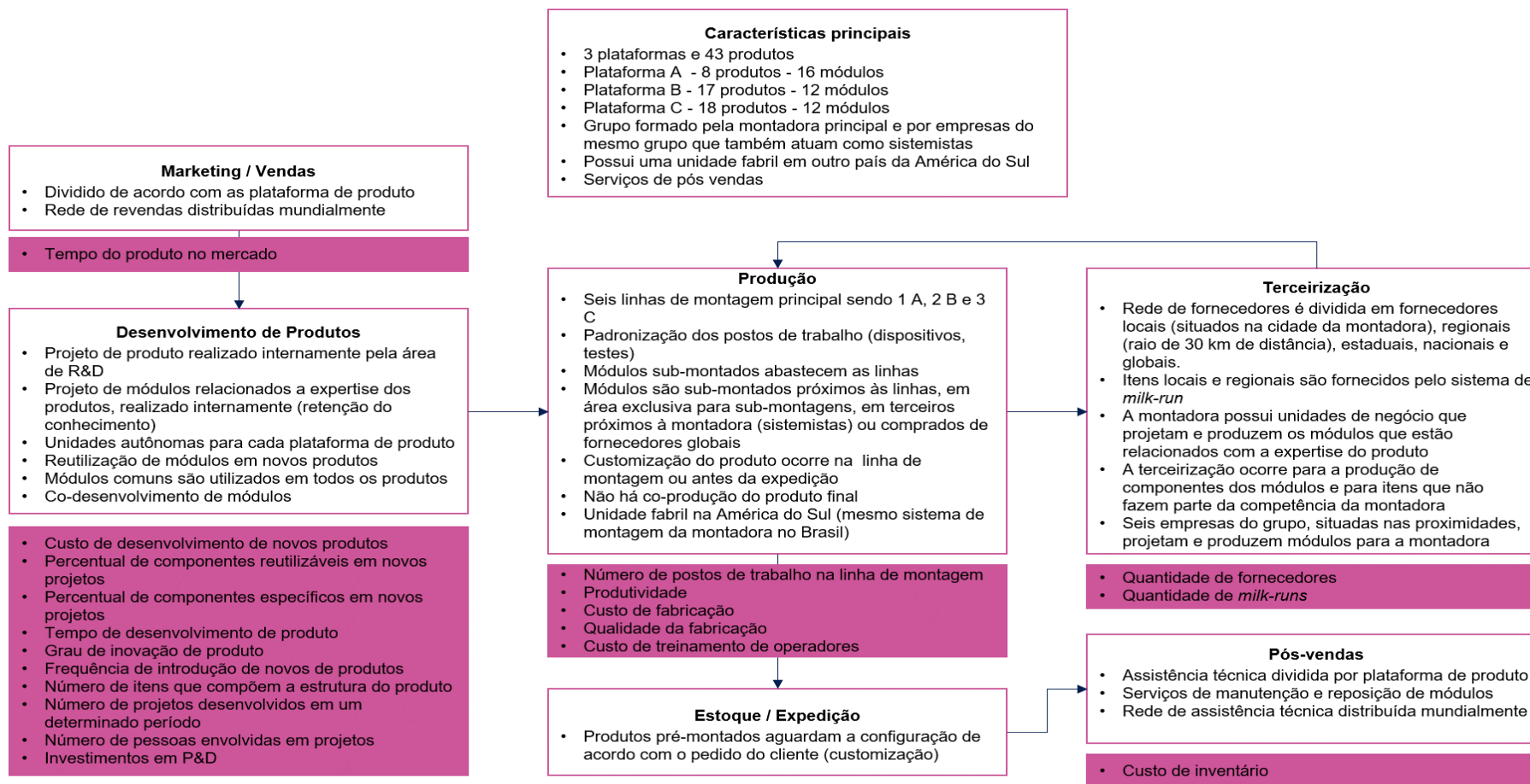


FIGURA 15. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: TRATOR).

Áreas estratégicas e operacionais da montadora (Máquinas e Equipamentos) afetadas pela MD. As caixas em branco indicam as atividades realizadas em cada área. As caixas em azul apresentam os indicadores utilizados para medir a eficiência do produto modular.

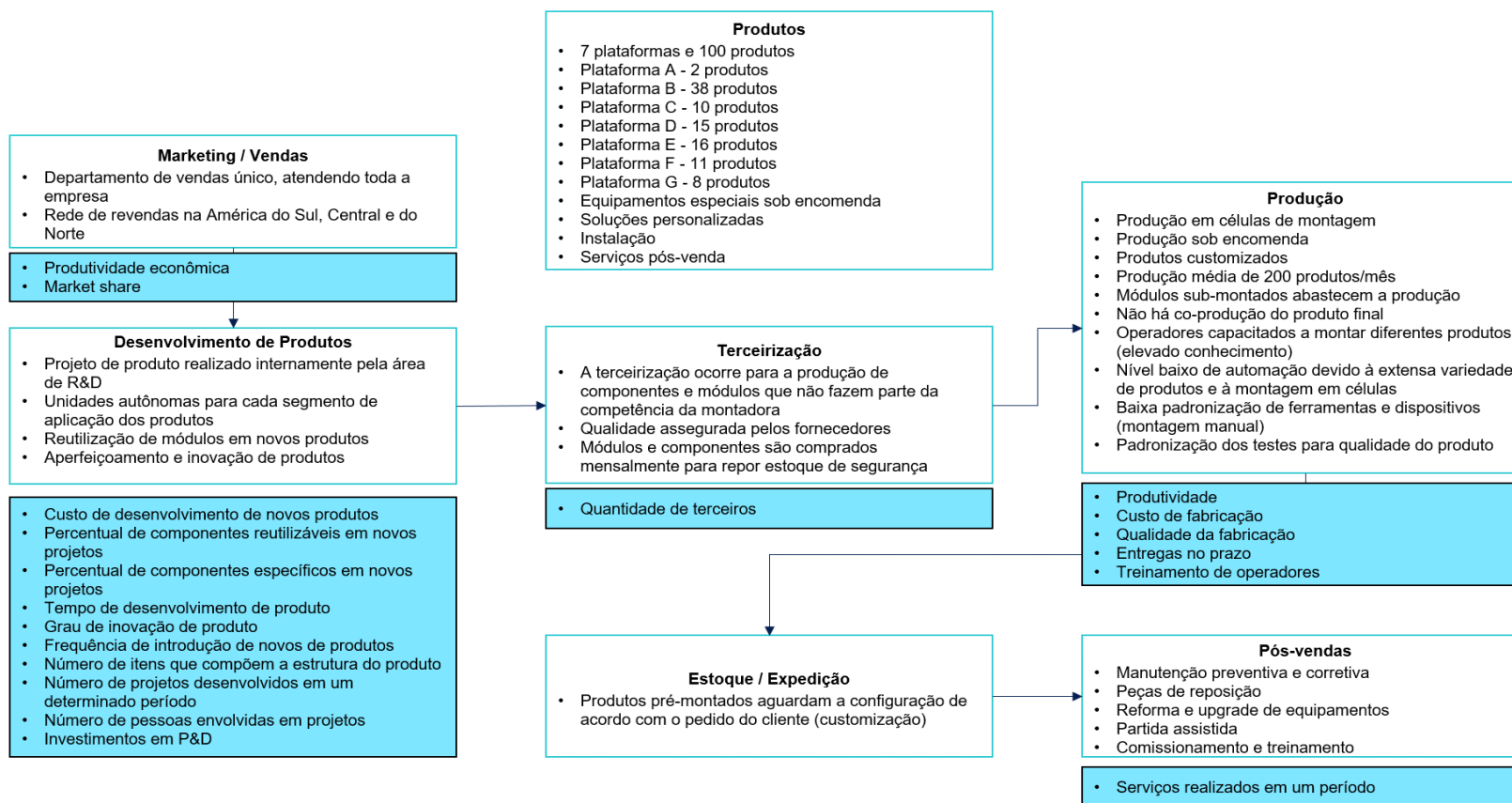


FIGURA 16. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS).

Áreas estratégicas e operacionais da montadora (Eletrodomésticos) afetadas pela modularidade. As caixas em branco indicam as atividades realizadas em cada área. As caixas em verde apresentam os indicadores utilizados para medir a eficiência do produto modular.

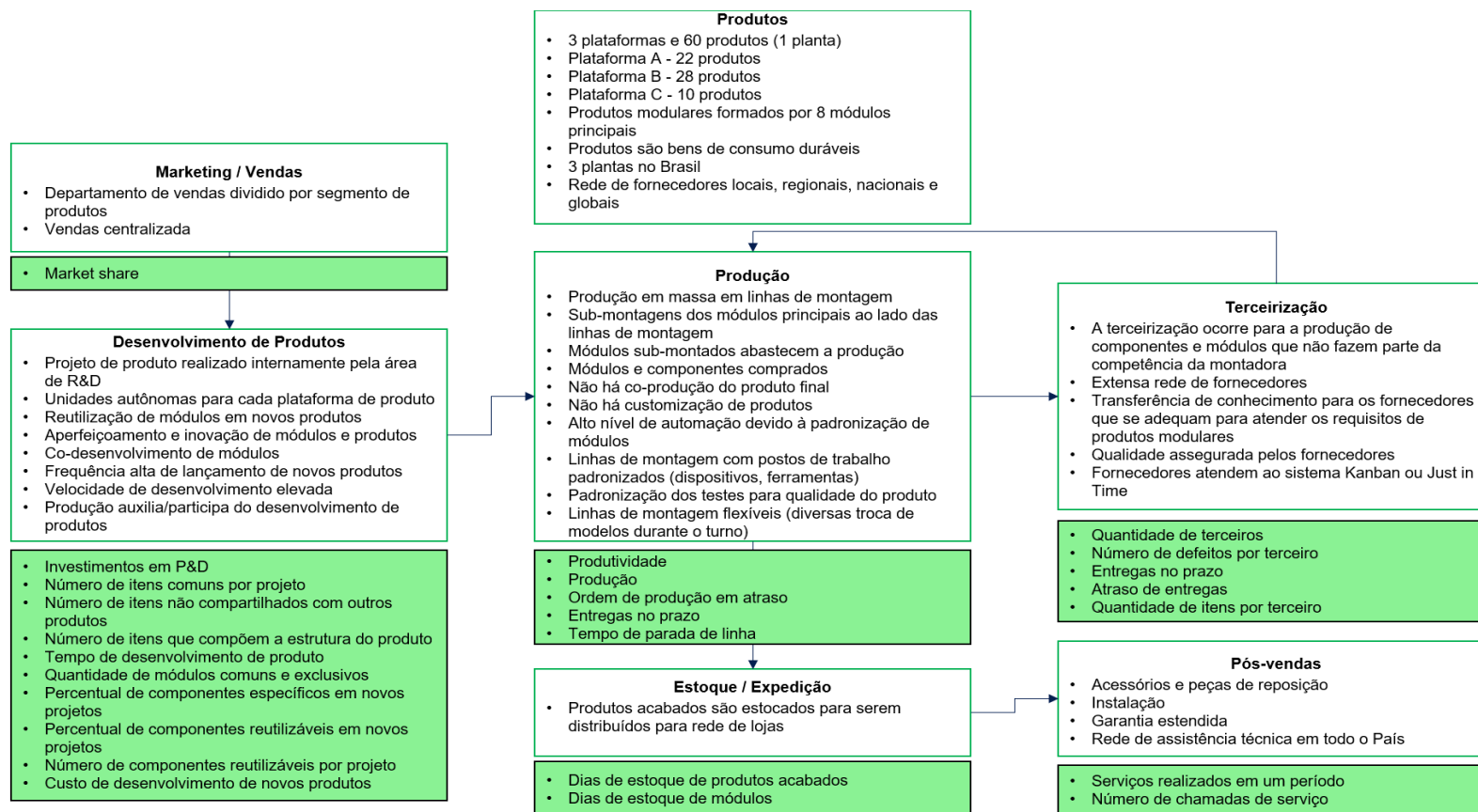


FIGURA 17. ESTUDO DE CASO (MONTADORA: ELETRODOMÉSTICOS).

### 4.3.2. Efeitos da MD no desenvolvimento de produtos (PD)

Esta etapa do trabalho contempla a aplicação do questionário como parte dos estudos de caso realizado nas montadoras.

A Figura 18 apresenta uma comparação sobre os impactos da MD no PD nas 3 montadoras, em uma escala de 1 a 5, onde: 1 - Discordo totalmente; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não discordo, nem concordo; 4 - Concordo parcialmente e; 5 - Concordo totalmente.

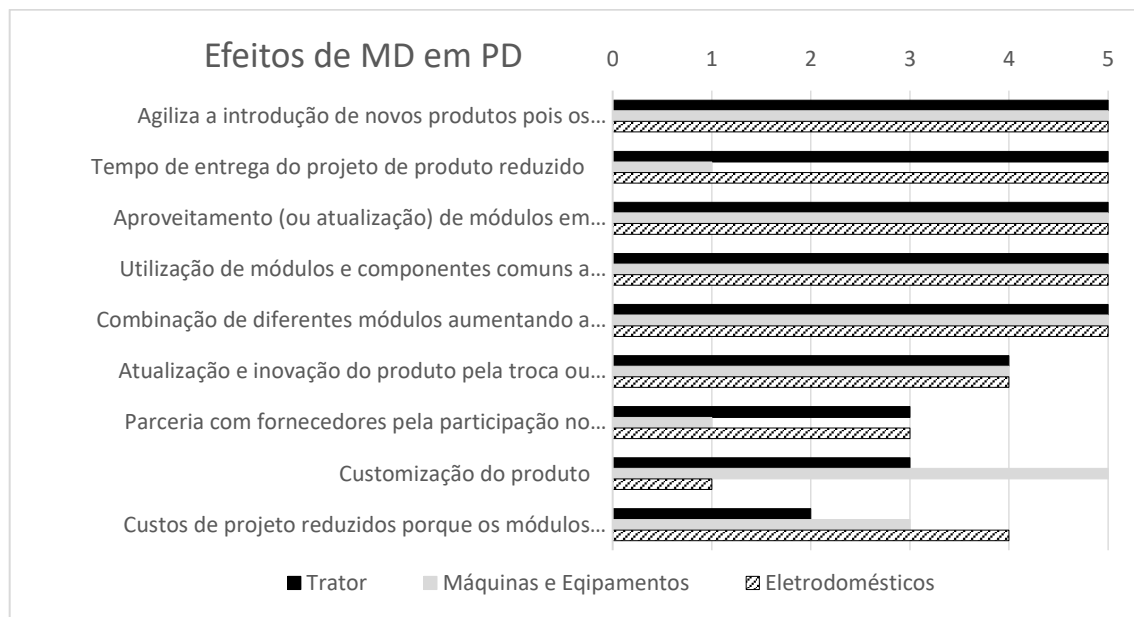


FIGURA 18. EFEITOS DA MD EM PD.

De acordo com as informações obtidas pelo questionário aplicado no estudo de caso, a montadora (Trator) desenvolve internamente todos os produtos. Prioriza aumentar a variedade de produtos, agilizar a introdução de novos produtos, tanto pelo aproveitamento e atualização de módulos existentes como pela utilização de módulos comuns a diversos produtos.

Em contrapartida, a customização dos produtos, embora praticada, não é um fator essencial para a adoção da modularidade do produto, visto que o portfólio de produtos é extenso e oferece opções para os clientes. A modularidade do produto exerce pouca influência na redução de custos de projetos devido à montadora internalizar todo o desenvolvimento dos módulos que possuem a expertise do



produto final, ou seja, tornando o custo de desenvolvimento de novos produtos praticamente fixo.

A montadora (Maquinas e Equipamentos) projeta e monta integralmente os produtos, que são equipamentos industriais fornecidos para um extenso número de empresas da indústria brasileira e exportados. Na visão da montadora, a modularidade do produto influencia positivamente o desenvolvimento de produtos (PD) por meio da velocidade de desenvolvimento possível pela utilização e aproveitamento de módulos existentes.

A customização de produtos é pratica constante para atender a demanda diferenciada de clientes de toda a indústria. O desenvolvimento dos produtos customizados ocorre em alterações de produtos pré-desenvolvidos. Outro ponto importante e que começa a ganhar importância na visão estratégica da montadora são os serviços fornecidos junto com o produto. Neste caso, nota-se que os serviços são divididos em módulos de acordo com a necessidade de cada cliente.

A modularidade do produto possibilita também o desenvolvimento de novas famílias de produtos ou de soluções completas, constituídas por vários produtos de diferentes plataformas, fornecidas no sistema *turnkey* (consiste no fornecimento de um pacote completo de serviços e soluções para um projeto em todas as suas etapas).

A montadora (Eletrodomésticos) possui três plantas no País. Para este trabalho, o estudo de caso foi aplicado e uma das plantas, que tem como característica a produção em massa de bens de consumo. O portfólio de produtos é dividido em 3 plataformas e é constantemente renovado com o lançamento de novos produtos.

O projeto de produtos é realizado integralmente na montadora e é dividido por plataforma de produtos. A MD foi adotada pela montadora na tentativa de entregar produtos mais inovadores aos clientes e com mais rapidez. Os efeitos da modularidade do produto no desenvolvimento de produtos (PD) estão diretamente conectados ao tempo de desenvolvimento e à frequência de lançamento de novos produtos, que são fatores primordiais para se alcançar ou manter a vantagem competitiva no segmento de atuação da montadora. A agilidade na introdução de novos produtos, a redução dos custos de desenvolvimento e o extenso portfólio de produtos são obtidos por meio da combinação de diferentes módulos, o

aprimoramento (inovação) de módulos existentes e pela possibilidade de desenvolvimento independente dos módulos.

A modularidade do produto traz o benefício da redução direta de custos de material e reduz o tempo de inovação de novos produtos. No sentido na terceirização do projeto de módulos, a montadora co-desenvolve apenas os módulos e componentes que não fazem parte da *expertise* do produto final.

### 4.3.3. Efeitos da MD na produção (PR)

A Figura 19 apresenta uma comparação sobre os impactos da MD na PR nas 3 montadoras, em uma escala de 1 a 5, onde: 1 - Discordo totalmente; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não discordo, nem concordo; 4 - Concordo parcialmente e; 5 - Concordo totalmente.

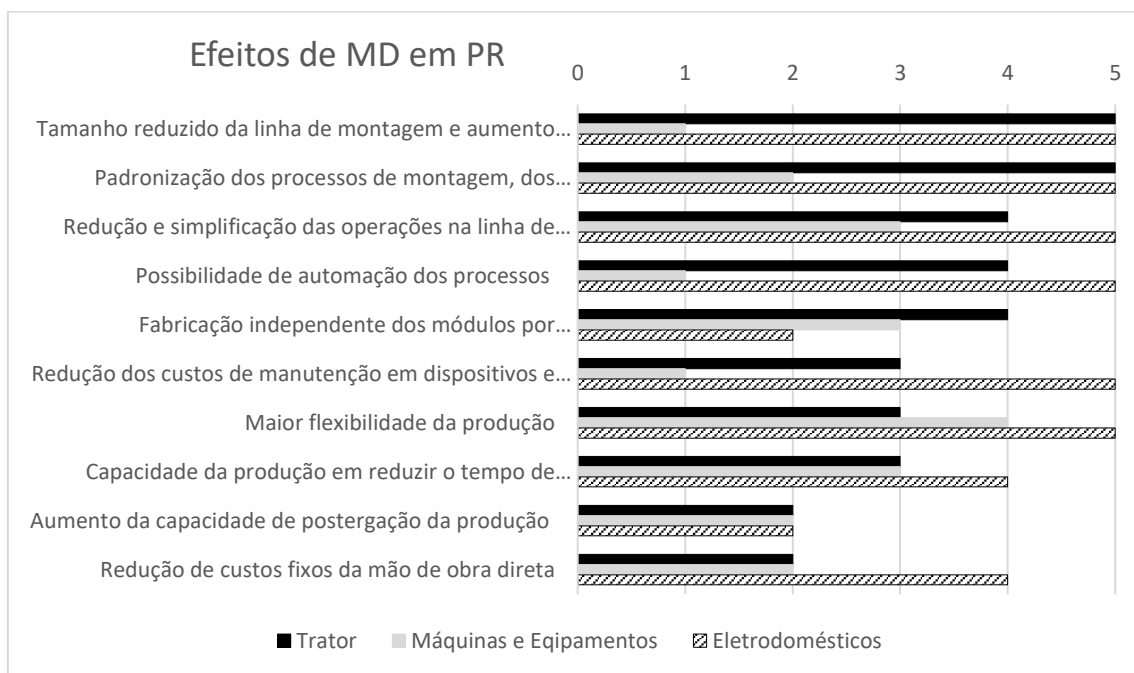


FIGURA 19. EFEITOS DA MD EM PR.

Para a montadora (Trator) os benefícios da modularidade do produto na produção (PR) estão relacionados à compactação das linhas, padronização dos processos, o que reduz custos de manutenção em dispositivos e ferramentas, redução e simplificação da montagem, pois os módulos são fornecidos pelas sub-montagens

ou por terceiros. A modularidade do produto proporciona maior flexibilidade devido a possibilidade de montar os módulos em diferentes estágios da linha de montagem ou até mesmo finalizar a configuração do produto na expedição, permitindo dessa forma a customização do produto.

O aumento da capacidade de postergação da produção não é um fator preponderante para a montadora, visto que a programação da produção é realizada de acordo com os pedidos fechados (*make to order*). A redução da mão-de-obra também não é influenciada pela modularidade do produto pois a montadora possui a maioria das sub-montagens realizadas internamente (verticalizada), ou seja, a mão-de-obra das linhas de montagem migraram para as sub-montagens dos módulos, mas a estrutura permanece constante.

A modularidade do produto exerce pouca influência na produção (PR) da montadora (Máquinas e Equipamentos) que se caracteriza por produção de baixo volume e alto *mix*. A montadora adota o sistema celular de montagem, que proporciona flexibilidade e aumenta a capacidade de resposta para atender às demandas, pois as células são capazes de se reconfigurar de maneira fácil e rápida e tem a capacidade de se adaptarem às trocas de produtos e às flutuações de pessoal.

As células de montagem normalmente exigem maior envolvimento do operador, porque elas são um elemento-chave no sucesso da operação da estação de trabalho. Dessa forma, os operadores são altamente qualificados e capacitados para montar todos os modelos de produtos. A fabricação de módulos e componentes é terceirizada possibilitando à montadora concentrar recursos nas atividades estratégicas além de reduzir custos fixos e ter a garantia da qualidade assegurada dos produtos. Não há sub-montagens.

A padronização de processos não é praticada visto que os produtos são customizados na montagem. A montagem é manual com o uso de ferramentas e máquinas padrão que a facilitam, inviabilizando a automação dos processos e dessa maneira reduzindo os custos diretos de manutenção, que envolvem peças de reposição e mão-de-obra especializada.

Além das três linhas de montagem, a montadora (Eletrodomésticos) conta com sub-montagens em cada linha para a montagem dos módulos. Nas linhas principais, as

tarefas funcionalmente similares ou idênticas são agrupadas entre si, proporcionando a padronização dos processos de montagem, testes e dispositivos. Dessa maneira, ocorre a redução do custo da manutenção industrial, que são os custos identificados pela ligação direta com o produto, linha de produto, centro de custo ou departamento, e são diretamente incluídos no cálculo dos produtos.

Tanto nas linhas principais quanto nas sub-montagens a meta é que cada operador tenha o domínio de todo o processo tornando-se um operador multifuncional. A utilização de módulos e componentes comuns em diferentes produtos e a simplificação das operações de montagem na linha principal facilitam a automação dos processos.

A modularidade do produto impacta na flexibilização da produção pois permite a montagem e desmontagem de módulos em diferentes estágios da linha de montagem, fazendo com que os processos possam ser alternados, conseguindo assim atender a diversas demandas e pedidos dos consumidores além de ter a capacidade de postergação da produção. A customização do produto é praticada nas linhas de montagem, mas em pequena escala, para atender às demandas de exportação de produtos.

#### **4.3.4. Efeitos da MD na organização (OR)**

A Figura 20 apresenta uma comparação sobre os impactos da MD na OR nas 3 montadoras, em uma escala de 1 a 5, onde: 1 - Discordo totalmente; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não discordo, nem concordo; 4 - Concordo parcialmente e; 5 - Concordo totalmente.

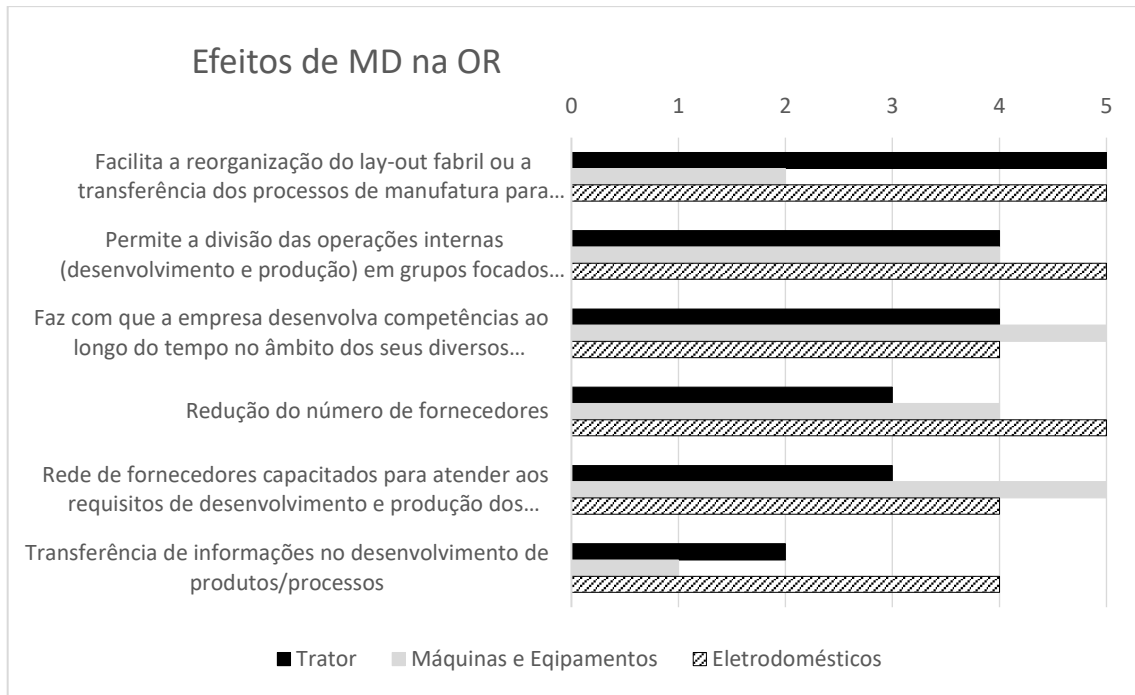


FIGURA 20. EFEITOS DA MD NA OR.

Para a montadora (Trator), a modularidade do produto proporciona flexibilidade à organização para realizar a transferência da produção de módulos ou de produtos para outras plantas e para alteração do *lay-out* fabril. Na visão da montadora, a modularidade do produto permite a criação de unidades autônomas de desenvolvimento de produtos e produção e dessa forma faz com que a organização desenvolva suas competências por estarem focadas nas atividades que agregam valor ao negócio.

Como a montadora possui uma estrutura verticalizada, inserindo-se nesse contexto o desenvolvimento de produtos e a produção, a terceirização é praticada para o fornecimento de peças que constituem os módulos ou para o fornecimento de módulos que não fazem parte da *expertise* do produto final (ex. rodas; motor). Assim, ter uma rede de fornecedores altamente capacitados não é um limitante para a adoção da estratégia modular pela montadora.

Sobre as dificuldades em se implementar a estratégia, a montadora informou que o principal desafio foi redesenhar o produto e o processo para atender à modularidade, o que no princípio tornou-se uma operação onerosa, devido às

mudanças e adequações no ambiente industrial (linhas de montagem, máquinas, treinamento operadores) e na forma de desenvolvimento de produtos.

Em relação à organização, a modularidade do produto faz com que a montadora (Máquinas e Equipamentos) tenha uma rede de fornecedores capacitada para atender os requisitos de projetos modulares. Como descrito acima, a terceirização possibilita à montadora focar em sua estratégia que é a expertise em desenvolvimento de projetos e a busca da inovação contínua dos produtos. Nesse sentido, a montadora possui unidades autônomas de projetos dedicadas à cada família de produtos. A modularidade do produto não influencia na adequação do *lay-out* fabril pois a configuração celular da produção faz com que a fábrica esteja em constante mudança.

Na montadora (Eletrodomésticos), a modularidade do produto tem grandes implicações na estrutura organizacional. Considerando a cadeia de suprimentos, para a montadora, os fornecedores devem buscar capacitação técnica e gerencial para atender as plataformas globais de produtos modulares. Ter uma cadeia de suprimentos organizada, permite à montadora a transferência de custos fixos para seus fornecedores.

A montadora entende que a modularidade do produto facilita realizar alterações na estrutura organizacional para atender a estratégia modular, como transferir a produção de produtos para outra localidade mais próxima dos fornecedores, otimizando a logística de abastecimento dos módulos, por exemplo. A estratégia modular propicia o surgimento de unidades autônomas com objetivos e metas específicas que devem estar em sintonia com o planejamento estratégico, as políticas, visão e missão da empresa.

A montadora informou que as principais dificuldades para a adoção da estratégia modular aplicada ao produto são o alto investimento para realizar uma mudança organizacional para atender à estratégia modular, redesenhar produto e processo, alterar a cadeia de suprimentos da estrutura tradicional para a estrutura modular.

#### 4.4. MODELO AJUSTADO DAS MONTADORAS

A Figura 21 apresenta o modelo ajustado para a montadora (Trator) construído de acordo com os resultados encontrados no estudo de caso.

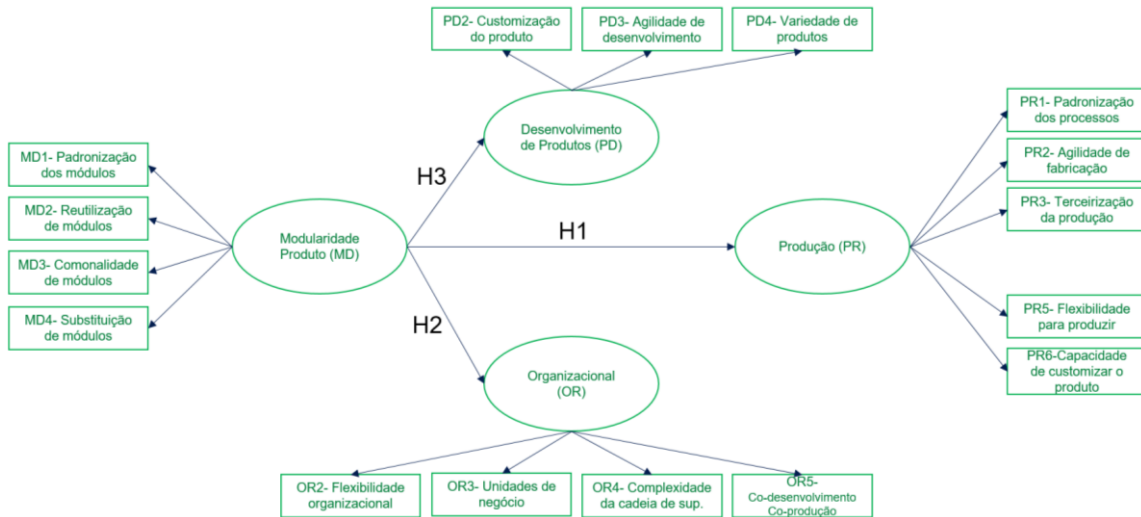


FIGURA 21. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (TRATOR).

Em relação ao modelo proposto, a montadora (Trator) não pratica a terceirização do projeto dos módulos que estão diretamente relacionados à *expertise* do produto final. Na produção, devido às características dos produtos, ocorre a padronização dos postos de trabalho, considerando apenas ferramentas e dispositivos de montagem e a aplicação da automação é restrita à processos que precedem à montagem final (solda, pintura).

Uma característica importante observada é a capacidade de customizar o produto final. Produtos pré-montados são estocados no pátio e configurados no momento da expedição conforme pedido do cliente. A rede de fornecedores é extensa e a co-produção é realizada por sistemistas (com fornecedores dedicados). A montadora possui outras plantas próximas e que produzem módulos e componentes para abastecer as linhas de montagem.

A Figura 22 apresenta o modelo ajustado para a montadora (Máquinas e Equipamentos) construído de acordo com os resultados encontrados no estudo de caso.

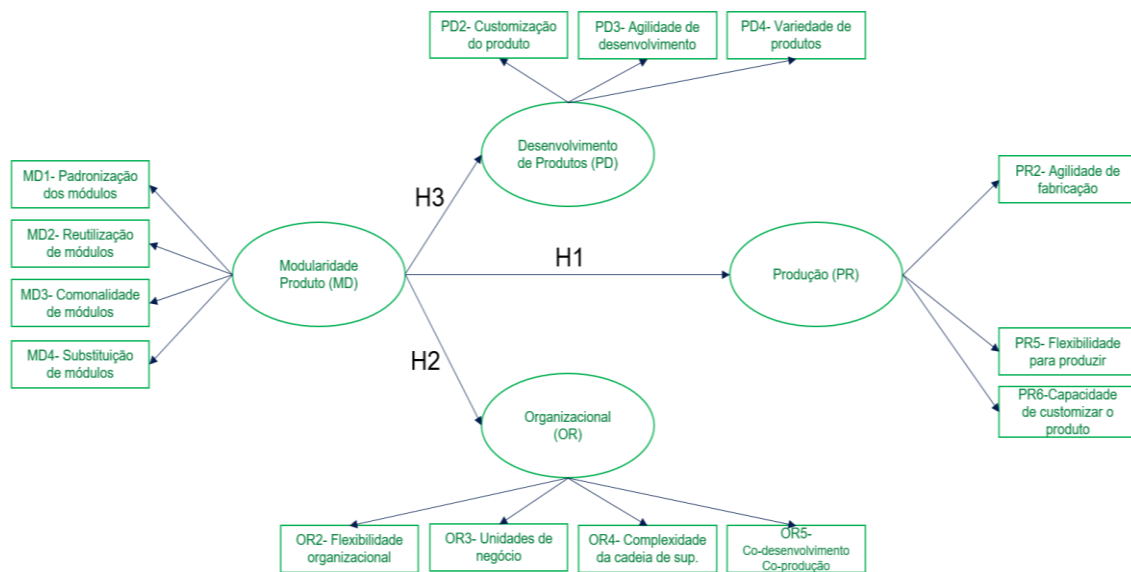


FIGURA 22. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS).

A montadora (Máquinas e Equipamentos) apresenta as mesmas características da montadora (Trator) em relação ao desenvolvimento de produtos modulares. Não ocorre a prática da terceirização do projeto, porém a capacidade de inovação, a frequência de lançamento de novos produtos e a variedade de produtos são facilitadas pela reutilização e aperfeiçoamento de módulos existentes.

A principal diferença em relação à montadora (Trator) ocorre na produção. A montadora (Máquinas e Equipamentos) adota o sistema de montagem celular onde os processos, integralmente manuais, variam de acordo com o produto. Dessa forma, a automação de processos não é aplicada. Uma característica importante observada é o elevado nível de conhecimento técnico dos operadores que realizam a montagem integral dos produtos.

A montadora tem como característica fornecer além de produtos, soluções customizadas constituídas por diferentes produtos além dos serviços de instalação e comissionamento da instalação.

A Figura 23 apresenta o modelo ajustado para a montadora (Eletrodomésticos) construído de acordo com os resultados encontrados no estudo de caso.



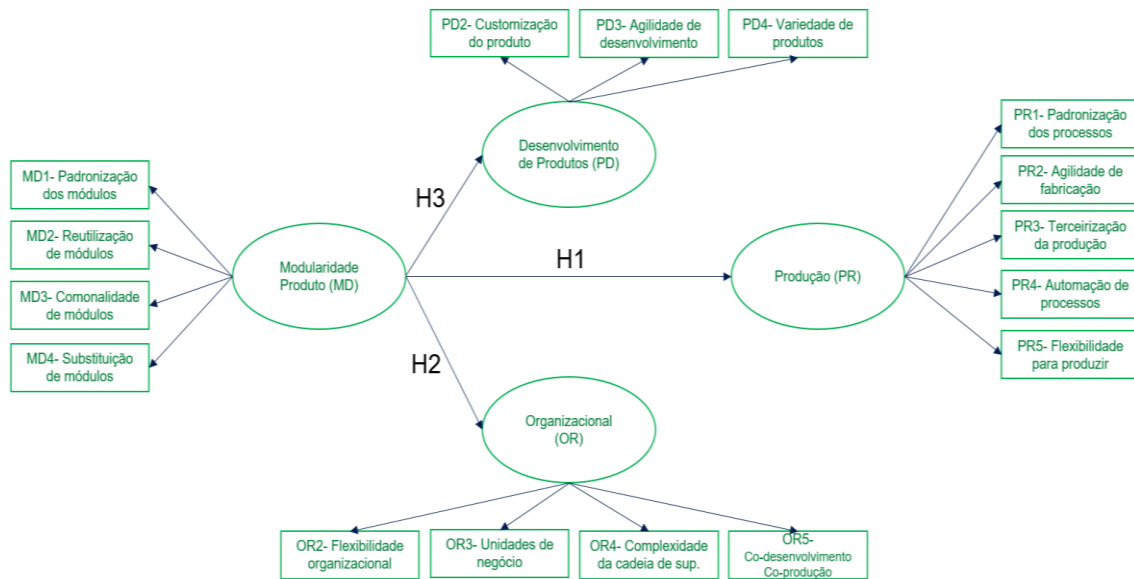


FIGURA 23. MODELO AJUSTADO PARA A MONTADORA (ELETRDOMÉSTICOS).

Em relação ao modelo proposto, a montadora não pratica a terceirização do projeto do produto. Os módulos diretamente relacionados com a *expertise* do produto são projetados e fabricados internamente. A montadora não tem a capacidade de customização em massa dos produtos.

Os módulos comuns permitem a padronização dos postos de montagem e facilitam a automação dos processos. As linhas de montagem são flexíveis e permitem a troca constante de modelos durante um turno de produção. A terceirização da produção é realizada para a fabricação de componentes ou de módulos que não fazem parte da competência da montadora. A rede de fornecedores é complexa, composta por fornecedores de nível local até fornecedores globais. Não há rede de sistemistas que fornece exclusivamente para a montadora.

#### 4.4.1. Nível de modularidade

Os modelos ajustados de acordo com os resultados do estudo de caso permitiram o cálculo do nível de modularidade das montadoras tendo como base o modelo proposto inicialmente. O nível de modularidade é representado pela divisão do número de variáveis dos dois modelos. Portanto, o nível de modularidade é representado da seguinte maneira:

- i.  $R = (\text{número de variáveis modelo montadora} / \text{número variáveis modelo proposto}) * 100$ .

A Tabela 16 apresenta o nível de modularidade das três montadoras.

TABELA 16. NÍVEL DE MODULARIDADE.

<b>MODELO</b>	<b>NÚMERO DE VARIÁVEIS</b>	<b>R (%)</b>
<b>PROPOSTO</b>	18	100
<b>MONTADORA (TRATOR)</b>	16	88,89
<b>MONTADORA (MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS)</b>	14	77,78
<b>MONTADORA (ELETRODOMÉSTICOS)</b>	16	88,89

As três montadoras apresentaram modelos com um elevado nível de modularidade quando comparados com o modelo construído a partir da literatura. A principal diferença encontra-se na terceirização do projeto de módulos, que não é praticada por nenhuma das montadoras. Este fato deve-se principalmente aos módulos finais possuírem a expertise do produto.

Outro fator importante é que a montadora (Máquinas e Equipamentos) possui sistema de produção celular, onde a padronização e automação dos processos torna-se inviável devido à diversidade de produtos e ao baixo volume de produção.

O modelo mostrou-se com capacidade para explicar satisfatoriamente os eventos que nele estão inseridos. Tem aplicação prática na medida que representa a realidade das atividades de áreas estratégicas e operacionais de empresas brasileiras.

O modelo mostrou-se com capacidade para explicar satisfatoriamente os eventos que nele estão inseridos. Tem aplicação prática na medida que representa a realidade das atividades de áreas estratégicas e operacionais de empresas brasileiras.

#### 4.5. SURVEY SOBRE A ADOÇÃO DA MD NA INDÚSTRIA

Além da extensa lista de oportunidades de pesquisas sobre a estratégia modular apresentada no campo acadêmico, esta investigação teve como objetivo identificar como empresas brasileiras dos setores automobilísticos, de eletrodomésticos e de máquinas e equipamentos estão lidando com a modularidade e entender como as mesmas visualizam aspectos do seu uso em áreas estratégicas e operacionais.

Para tanto, foi realizado um levantamento tipo *survey* com o envio de um questionário para cerca de 300 empresas destes segmentos, com aproximadamente 28% de nível de retorno. A pesquisa identificou 50 empresas (60%) que desenvolvem e produzem produtos modulares; 30 empresas (36%) que não utilizam a estratégia da modularidade e; 3 empresas (4%) não souberam responder, conforme Figura 24.

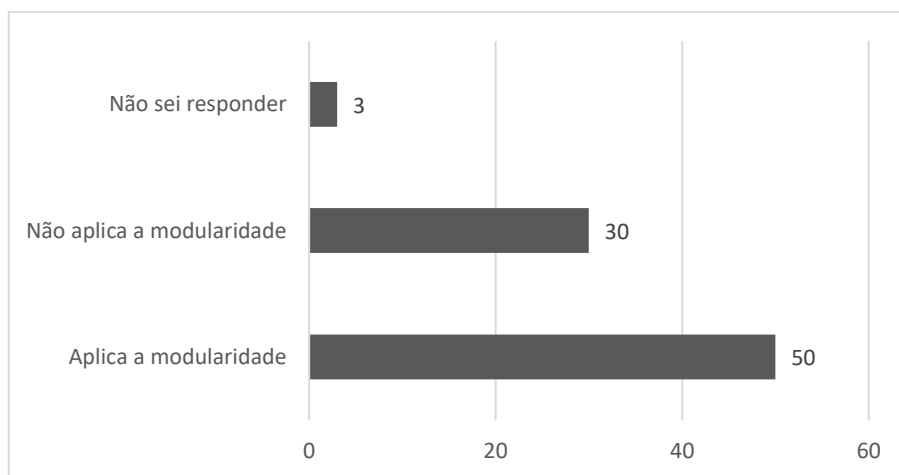


FIGURA 24. EMPRESAS QUE APLICAM OU NÃO A MD.

Os dados mostram que, embora na academia, a MD venha sendo tratada há mais de duas décadas, no campo ainda é pouco aplicada, ratificando a necessidade de abordagens empíricas, além de estudos que investiguem a aplicabilidade prática da estratégia. A área de serviços, que não foi abordada neste trabalho, é outro campo onde os estudos sobre os efeitos da modularidade precisam ser mais aprofundados (KUBOTA *et al.*, 2017).

A Figura 25 mostra que, das empresas que aplicam a estratégia modular, 22 (27%) o fazem há mais de 10 anos, indicando experiência em sua aplicação

(CARNEVALLI *et al.*, 2013). É nesse período que Salerno *et al.* (2009) destacam o surgimento da modularidade na indústria automotiva brasileira e também foi nessa época que ocorreu uma nova fase de investimento no setor (RACHID *et al.*, 2006), corroborando com os dados da literatura.

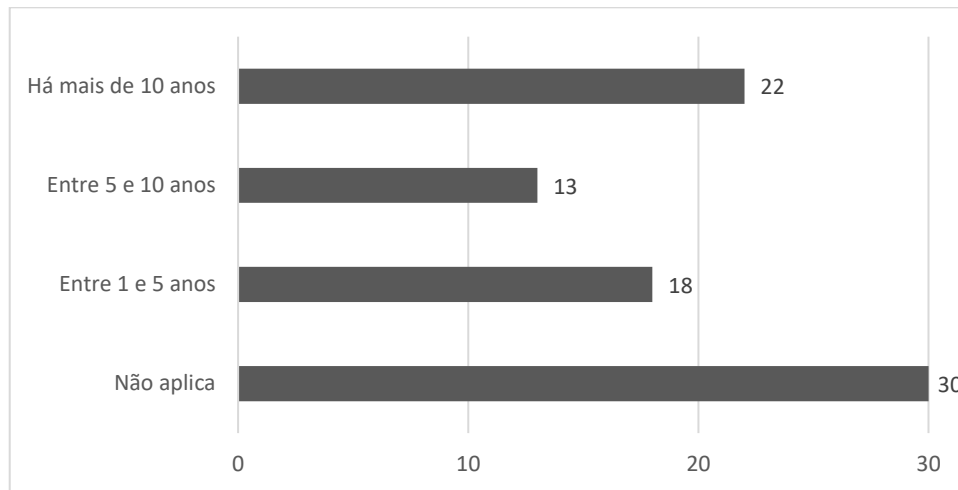


FIGURA 25. TEMPO DE APLICAÇÃO DA MD PELAS EMPRESAS.

Treze empresas (15%) adotaram a MD em um período entre 5 e 10 anos e 18 empresas (22%) aplicam a modularidade há menos de cinco anos, período em que a indústria amarga retração acumulando uma queda de mais de 10% nos indicadores de produção (ANFAVEA, 2020). Nesse período a MD tornou-se uma opção para o aumento da produtividade e para a redução de custos devido à terceirização e simplificação da montagem final, por exemplo.

As empresas foram questionadas a respeito de como a estratégia modular pode influenciar aspectos estratégicos e operacionais como, o foco em atividades de projeto, comercialização e distribuição, terceirização da produção.

A Figura 26 mostra a perspectiva estratégica das empresas em relação à adoção da estratégia modular.

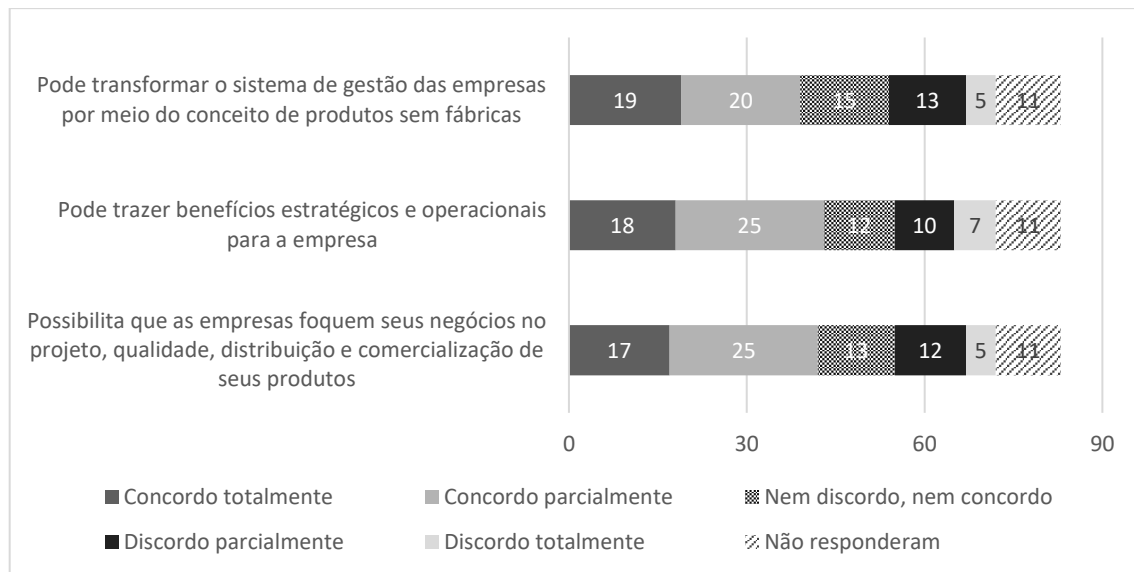


FIGURA 26. PERSPECTIVA DAS EMPRESAS EM RELAÇÃO À MD.

Das empresas respondentes, 42 (51%) entendem que o uso da MD possibilita que as mesmas foquem seus negócios no projeto, qualidade, distribuição e comercialização de seus produtos além de transformar o sistema de gestão por meio do conceito de produtos sem fábricas (fabricação integralmente terceirizada).

Em relação à produção, o foco das empresas está relacionado em reduzir os custos fixos, que pode ocorrer por meio da terceirização da produção e por meio da padronização dos processos, reduzindo custos de manutenção, custos de aquisição de peças de reposição, além de reduzir estoques dessas peças e componentes.

A Figura 27 apresenta a perspectiva das empresas sobre os efeitos da MD na produção (PR).

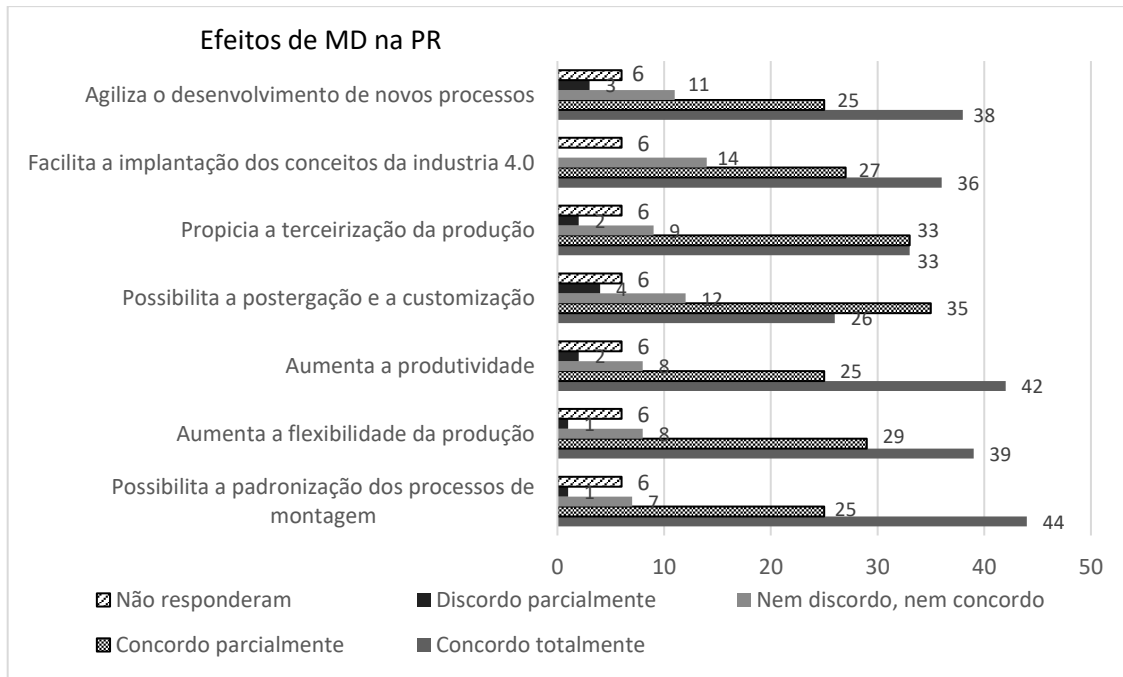


FIGURA 27. EFEITOS DA MD NA PRODUÇÃO (PR).

A padronização dos postos de trabalho e a comunalidade dos módulos favorecem a automação dos processos e a introdução de novas tecnologias provenientes da indústria 4.0 como por exemplo, a digitalização de processos e a impressão de peças utilizadas em dispositivos especiais.

As rápidas mudanças nas expectativas dos clientes, na concorrência e na tecnologia vêm criando um ambiente crescentemente incerto. Para responder a essas mudanças, as organizações estão buscando incrementar a flexibilidade de seus processos e de sua cadeia de valor.

Para as empresas é importante, ter uma produção ágil, que possibilite a implementação de novos modelos com maior frequência e ao mesmo tempo flexível, capaz de produzir um *mix* maior de produtos afim de atender à demanda do mercado além de possibilitar a customização em massa de produtos tanto nas linhas de montagem quanto fora delas.

A flexibilidade de manufatura é um fator estrategicamente importante para incrementar a posição competitiva e ganhar pedidos de clientes. A postergação da produção atinge com mais força os fornecedores que precisam ter estrutura para manter estoques de módulos quando a montadora adia a data de entrega para uma

produção programada, e poder de negociação com seus fornecedores, por exemplo.

Na área de desenvolvimento de novos produtos verificou-se que o objetivo das empresas é a redução de custos, que ocorre com a redução do tempo de projeto e com a transferência de atividades (terceirização; co-projeto).

A vantagem competitiva no mercado que pode ser adquirida ou mantida pela capacidade de customização e inovação de produtos, além da velocidade de lançamentos, o que a estratégia do desenvolvimento de produto pode ajudar a atingir.

A Figura 28 apresenta as perspectivas das empresas sobre os efeitos da MD no desenvolvimento de novos produtos (PD).

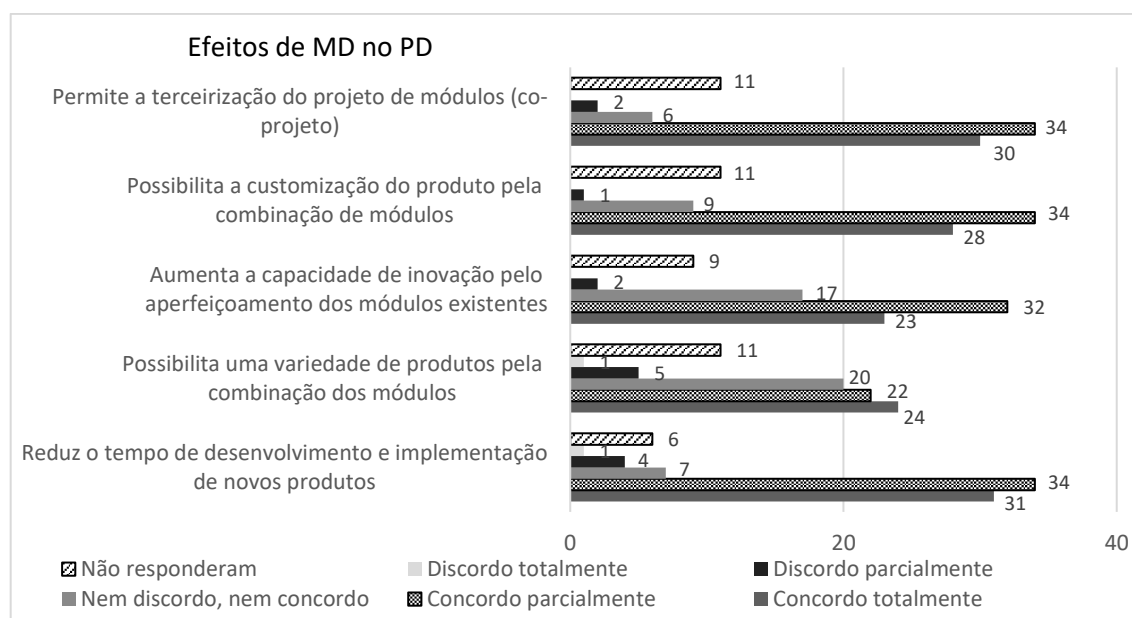


FIGURA 28. EFEITOS DE MD NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PD).

A terceirização das atividades de projeto dos módulos para o fornecedor pode trazer benefícios em relação à redução de custos fixos por meio da desverticalização das atividades para 64 (88%) empresas. Essa transferência de atividades faz com que ocorra um aprimoramento das capacidades gerenciais e operacionais dos fornecedores, que precisam se adequar para atender aos requisitos da produção modular. Das empresas pesquisadas, 62 (74%) entendem

que a customização do produto é facilitada pela MD por meio da combinação de diferentes módulos.

O tempo de desenvolvimento de novos produtos pode ser reduzido na visão de 65 (78%) das empresas, devido à possibilidade de utilização de módulos existentes, que podem ser aperfeiçoados. Tanto a capacidade de customização de produtos e a agilidade de desenvolvimento, propiciam às empresas ter uma ampla variedade de produtos além do poder de aumentar a frequência de lançamentos de novos produtos para o mercado, o que pode gerar vantagem competitiva, justificando as respostas de 46 (55%) das respostas obtidas.

Todavia, atender exatamente as necessidades e desejos individuais de cada consumidor implica em gerenciar um número grande de variáveis, o que está muitas vezes além da capacidade de muitas empresas.

Em relação à organização, a pesquisa identificou que os efeitos da MD estão relacionados à adaptação que a empresa realiza em sua estrutura para aplicá-la incluindo os fornecedores que são os que mais têm que se adaptar à modularidade (CAMPAGNOLO e CAMUFFO, 2010).

A Figura 29 apresenta a perspectiva das empresas sobre os efeitos de MD na organização (OR).

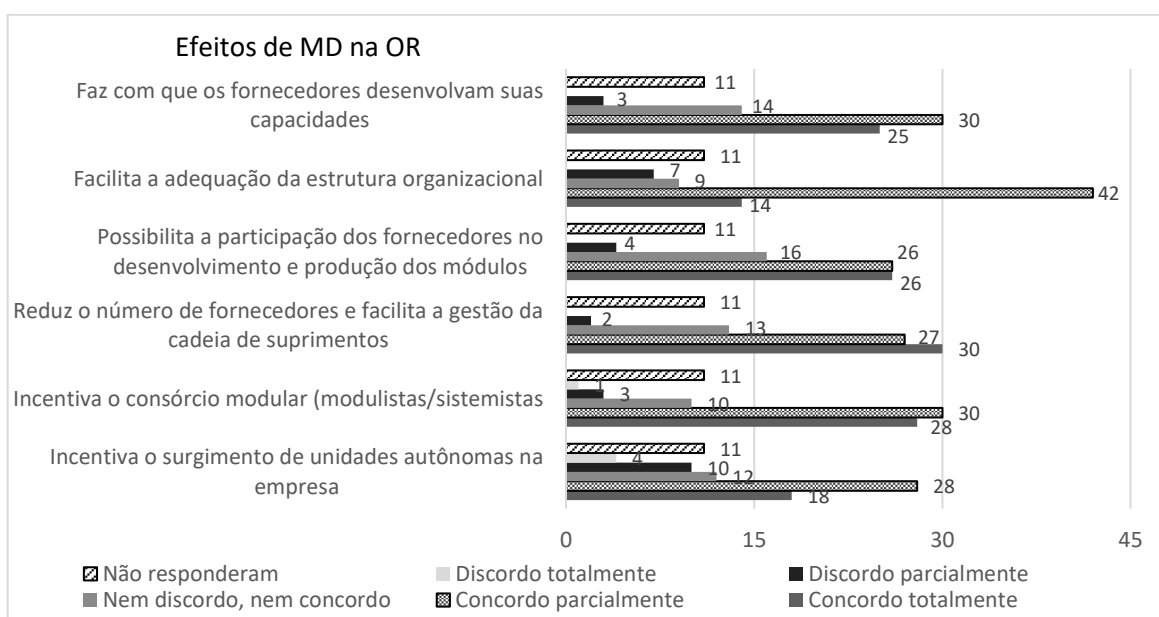


FIGURA 29. EFEITOS DE MD NA ORGANIZAÇÃO (OR).



Para as empresas, a troca de informações e de conhecimento existente em um sistema modular faz com que os seus integrantes adquiram conhecimento e aprimorem suas competências (SANCHEZ, 2000). A transferência de conhecimento ocorre mediante processos de socialização, educação e aprendizado e sua ênfase reside no potencial de alavancagem competitiva das organizações (SACOMANO *et al.*, 2015).

Pode-se verificar que 55 (66%) respondentes concordam que ocorre o aprimoramento das capacidades dos fornecedores para desenvolverem e/ou produzirem os módulos ou componentes, indicando que a modularidade gera uma migração do conhecimento e de atividades na cadeia de suprimentos que vai além da montadora ao fornecedor de 1º nível, atingindo outros níveis da cadeia.

O consórcio modular é incentivado para 58 (70%) das empresas pesquisadas, reduzindo a complexidade da cadeia de suprimentos e reduzindo custos logísticos por meio da distância das montadoras com os fornecedores. Por outro lado, através de unidades autônomas podem haver ganhos na curva de experiência dos processos, agilidade na operação e maior aderência nos controles e decisões gerenciais (FUSCO, 1997).

Limitando-se às empresas que participaram do levantamento, conclui-se que é necessário explorar as razões pelas quais 30 (36%) empresas indicaram que não aplicam a modularidade do produto. Faz-se necessário também aprofundar os resultados obtidos por meio de uma investigação mais específica nas empresas abordadas possivelmente por meio da aplicação de múltiplos estudos de casos.

Realizar estudos empíricos no sentido contrário ao proposto na pesquisa, ou seja, investigar se a aplicação ou o desenvolvimento da estratégia modular pode ser afetada ou limitada pela produção, pela organização ou pelo desenvolvimento de produtos. Por exemplo, a estrutura fabril pode limitar a implantação de produtos modulares? As linhas de montagem podem determinar o nível de modularidade de um produto? Finalmente, cabe destacar que a pesquisa foi realizada com o objetivo de corroborar com a literatura no sentido de que estudos empíricos são necessários para aprimorar o conhecimento prático sobre a adoção da MD.

#### **4.6. ESTUDO DE CASO PARA IDENTIFICAR INDICADORES**

Para Petri (2005), as empresas necessitam desenvolver processos gerenciais que as auxiliem na avaliação de seu desempenho, devendo buscar formas de medir e de avaliar a eficiência, a eficácia, a efetividade, a qualidade, a produtividade, a inovação, a lucratividade, entre outras características. Para essa tarefa, podem fazer uso dos indicadores que, segundo Tocchetto e Pereira (2004), são medidas utilizadas para avaliar, mostrar a situação e as tendências das condições de um dado ambiente”.

A proposta desta etapa foi evidenciar de modo objetivo as relações entre MD, PR, PD e OR. O estudo de caso possibilitou identificar indicadores no nível estratégico e operacional, associados a cada área, segundo influência da MD. Outros objetivos foram: (i) determinar se há indicadores utilizados na prática e que não foram encontrados na revisão de literatura realizada neste trabalho; (ii) como os indicadores são utilizados.

##### **4.6.1. Indicadores para medir MD na produção (PR)**

Esta observação refere-se à relação entre produto modular e processos de fabricação. Apresentam-se os resultados observados na montadora relativos a: linhas de montagem, sub-montagens, padronização de componentes, automação, flexibilidade da produção e terceirização.

Para tanto, realizou-se uma análise comparando a montagem de produtos com diferentes graus de modularidade (produto A tem menor grau de modularidade que o produto B).

A Figura 30 apresenta a sequência de montagem dos dois produtos e a distribuição dos módulos nos estágios das linhas de montagem.

Produto	Módulo	Nível de complementação em cada estágio da linha de montagem				Nível Montagem (%)				Total				
		E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4					
A	Gabinete Montado													
B														
A	Conjunto Porta													
B														
A	Painel de Controle / Eletrônicos													
B														
A	Embalagem													
B														
A	Sistema Hidráulico													
B														
A	Transmissão													
B														
A	Sistema Lavante													
B														

FIGURA 30. SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DOS PRODUTOS A E B.

Verificou-se que o produto A tem em média 97% do complemento das montagens dos módulos realizados na linha. Os módulos são revisitados várias vezes durante a sequência de montagem. No produto B os módulos estão praticamente montados quando entram na linha principal, apresentando um nível de complemento de 63%.

A Tabela 17 compara a eficiência entre as linhas de montagem pelos indicadores de produção e produtividade e apresenta os demais indicadores utilizados para medir o impacto da modularidade do produto sobre a produção.

TABELA 17. COMPARATIVO ENTRE PRODUTOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE MODULARIDADE.

Produto	Modelo	A	B
	Linha de montagem	1	2
	Quantidade de componentes	562	400
	Quantidade de módulos	7	7
Nível de complementação dos módulos (%)		97	63
Produção	Comprimento da linha	120	100
	Takt-time	24	17
	Produção	150	212
	Número de operadores	210	200
	Prod/h/pessoa	0,71	1,06
	Prod/h/número de componentes	0,27	0,53
	Comprimento da linha/pessoa	0,57	0,47
Comprimento da linha/prod/h		0,80	0,47

Os motivos da diferença de produtividade nas linhas de montagem são devidos à variação do design do produto, que proporciona para o produto. A maior complexidade de montagem e por consequência, aumento do comprimento da linha devido ao número de postos de trabalho, aumento o número de operadores e do tempo de ciclo da linha.

## Sub-montagens

Outros indicadores observados nesta etapa estão relacionados com a área e o comprimento das linhas de montagem. Trata-se do número de sub-montagens que abastecem as linhas de montagem principais.

A Figura 31 apresenta o esquema das duas linhas de montagem com a distribuição das sub-montagens.



FIGURA 31. ESQUEMA DAS LINHAS DE MONTAGEM PARA PRODUTOS MODULARES.

O comprimento da linha para produtos com maior grau de modularidade, definida neste trabalho como linha de montagem 2 (L2) é menor. Ela é mais compacta e apresenta uma quantidade maior de sub-montagens (dez) em relação à linha de montagem para produtos menos modularizados. Esta é denominada linha de montagem 1 (L1), e apresenta apenas seis sub-montagens.

Nota-se que alguns módulos são montados diretamente na L1, enquanto em L2 os mesmos são sub-montados antes de entrarem na linha principal. L1 ocupa uma área 44% maior em relação à área de L2 (área L1 = 2.530 m<sup>2</sup>; área L2 = 1.760 m<sup>2</sup>), mesmo com as sub-montagens, que requerem espaço para serem instaladas.

## Automação

Também foi observada a diferença do nível de automação entre as linhas L1 e L2. A Tabela 18 apresenta a quantidade de robôs observada nas duas linhas de montagem.

TABELA 18. AUTOMAÇÃO EM LINHAS DE MONTAGEM DE PRODUTOS MODULARES.

Linha de montagem	Estágio da linha de montagem	Quantidade de robos instalados
L1	3	1
	4	1
L2	1	5
	2	5
	3	6
	4	3

A L2 apresenta um nível de automação superior em relação à L1, devido à padronização dos módulos. Verificou-se que na L1 as operações automatizadas são aquelas que não exigem a montagem de nenhum componente (colocação de etiqueta; teste de vazamento) enquanto que na L2, operações de montagem, como o posicionamento e fixação da transmissão são realizadas por robôs.

Neste caso, pode-se afirmar que a modularidade do produto facilita a automação dos processos, além de contribuir para o surgimento de sub-montagens e para a otimização do uso da área fabril. Outro fator observado é que a automação tem um alto impacto na redução de mão-de-obra direta.

## **Padronização**

A padronização de módulos, princípio da modularização de produtos, conduz à a modularidade de processos por meio da padronização das estações de trabalho e dos dispositivos de montagem.

Observou-se uma importante relação entre a modularidade do produto, a modularidade de processos e a redução dos custos de manutenção, visto que a padronização dos dispositivos contribui para reduzir o número de peças de reposição quando se realizam manutenções. Sugere-se que a modularidade favorece os serviços prestados pela área de compras, com isso, tem redução de custos, simplificação na sua lista de materiais.

Nos produtos com baixo grau de modularidade, a quantidade de componentes e módulos diferentes necessita de espaço para estoque, além de aumentar a quantidade de ferramentas e o número de *setups* em processos intermediários (estamparia e injeção plástica). Assim, a MD colabora para a redução de investimentos em ferramentas e para a redução da área de estoque para componentes e módulos.

## **Flexibilidade da produção**

Para evidenciar a diferença de flexibilidade entre as linhas, foi solicitado ao PCP (Planejamento e Controle da Produção) da montadora o plano de produção que mostra a programação por linha para três dias consecutivos. O plano de produção mostra que na L2 ocorreram cinco trocas de modelos por turno enquanto que, na L1 ocorreram quatro trocas por turno, nos três dias programados, ou seja, 20% a menos.

Os processos e os dispositivos padronizados permitem a otimização da troca de modelos em linha com produtos com maior grau de modularização. A agilidade de produzir diferentes modelos em um único turno facilita o atendimento a pedidos urgentes. A flexibilidade da produção, favorecida pelas sub-montagens dos módulos, implica na não existência de estoque de produto acabado e de matéria-prima na empresa. Os produtos saem da linha de montagem direto para o centro de distribuição. Isso libera espaço fabril.

## **Terceirização**

A terceirização foi analisada por meio da quantidade de fornecedores que compõem a cadeia de suprimentos da montadora. Os fornecedores produzem os componentes utilizados na sub-montagens dos módulos, todas realizadas internamente e enviadas para a linha principal. No caso da montadora em estudo, observou-se a oportunidade de terceirização de alguns desses módulos afim de simplificar a gestão da cadeia de suprimentos e transferir custos fixos.

Neste sentido, o custo da terceirização e o custo da internalização são indicadores a serem medidos em um sistema de produção. Se uma montadora que compra componentes e internaliza a produção de módulos passa a comprá-los de terceiros, reduz o número de mão-de-obra e os equipamentos necessários para a produção interna.

O custo da mão-de-obra direta diminui, devido a redução do número de operadores. Entretanto, o custo em relação aos materiais aumenta porque o valor de um módulo montado é maior que o dos componentes. Dessa forma, a comparação entre o custo da terceirização e o custo da internalização da produção, gera um indicador.

### **4.6.2. Indicadores para medir MD no desenvolvimento de produtos (PD)**

Foram identificados os seguintes indicadores: custo da reutilização, nível de customização, complexidade do produto, frequência de lançamentos, custo do material direto e nível de inovação, indicam características da modularidade do produto. A montadora também utiliza uma quantidade de módulos existentes em novos produtos (transmissão, bomba, etc.).

O ganho de custo por meio da reutilização de módulos sobre o custo total do projeto de um novo produto determina o indicador de custo de reutilização. A capacidade de customizar, adaptar ou adequar o produto de acordo com a necessidade do cliente, pode ser medida pelo número de produtos acabados após a montagem final. Este indicador trata da capacidade de postergar a finalização do produto.

A redução da complexidade do produto significa a redução da quantidade de componentes usados, e é uma meta de melhoria contínua para fabricação e modularização.

A frequência de lançamentos de novos produtos é determinada pelo tempo total entre a definição do escopo de projeto até a produção do primeiro lote. Normalmente este tempo é inferior há 12 meses, no caso da montadora abordada. O foco do desenvolvimento de produtos modulares deve estar em como o número de componentes necessários para criar um produto pode ser reduzido e também padronizado com outros componentes existentes.

O custo do material direto é o valor da matéria-prima utilizada na fabricação de um produto. A velocidade de inovação é o indicador que mostra a quantidade de produtos lançados em um ano. O grau de modularidade do produto é diretamente proporcional ao nível de customização e à velocidade de inovação.

A capacidade de lançamento de novos produtos pode ser beneficiada com a redução da variação do número de módulos (padronização), o que reduz o custo do produto (menos investimentos em ferramentas). A padronização de interfaces leva a uma conseqüente redução de componentes, que gera volumes maiores e um menor número de peças e uma melhor economia de escala.

#### **4.6.3. Indicadores para medir MD na organização (OR)**

Os indicadores identificados para determinar a relação entre a modularidade do produto e a estrutura organizacional foram: quantidade de unidades de negócio (unidades autônomas) dedicadas por famílias de produtos; quantidade de plantas (fábricas) por famílias de produtos; quantidade de fornecedores que constituem a cadeia de suprimentos; o número de transferência de processos de manufatura para terceiros ou para outras plantas.

Constatou-se que a montadora apresenta unidades dedicadas a cada família de produtos nas áreas de engenharia, compras, qualidade. O grupo é constituído por três unidades fabril, sendo cada unidade dedicada à produção de uma família de produto. A cadeia de suprimentos é distinta para cada fábrica, dada à distância física com os fornecedores. Porém existem fornecedores comuns para as três fábricas.



#### 4.6.4. Indicadores

O Quadro 11 apresenta os indicadores identificados na abordagem realizada na montadora, que determinam os efeitos decorrentes da MD nas áreas de produção, desenvolvimento de produtos e organizacional e que poderão estruturar o modelo proposto nesse trabalho, como forma de se ter uma ferramenta para gestão, útil para o desenvolvimento e implantação de produtos modulares.

QUADRO 11. INDICADORES IDENTIFICADOS NA ABORDAGEM À MONTADORA.

Item	Área	Descrição	Unidade
1	Produção	Comprimento da linha de montagem	Metros (m)
2	Produção	Produção	Produtos/hora (Pr/h)
3	Produção	<i>Takt Time</i>	Segundos (s)
4	Produção	Mão-de-obra por linha	Unidades (un)
5	Produção	Produtividade	Produção/hora/pessoa
6	Produção	Produtividade	Produção/hora/número de componentes
7	Produção	Comprimento da linha /operador	Metros (m)/pessoas
8	Produção	Comprimento da linha /produção/hora	Metros (m)/prod/h
9	Produção	Número de sub-montagens	Unidades (un)
10	Produção	Área útil da linha de montagem	Área (m <sup>2</sup> )
11	Produção	Número de robôs por linha	Robôs/linha (un)
12	Produção	Custo de manutenção	Custo (R\$)
13	Produção	Área de estoque de módulos	Área (m <sup>2</sup> )
14	Produção	Quantidade de setup/turno	Setup/turno (un)
15	Produção	Custo Terceirização /Internalização	Custo (R\$)
16	Desenvolvimento de Produtos	Custo de reutilização de design	Custo (R\$/produto)

QUADRO 11. INDICADORES IDENTIFICADOS NA ABORDAGEM À MONTADORA .

“CONTINUAÇÃO”

<b>Item</b>	<b>Área</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
<b>17</b>	Desenvolvimento de Produtos	Nível de customização	Módulos/produto (un)
<b>18</b>	Desenvolvimento de Produtos	Complexidade	Componentes / produto (un)
<b>19</b>	Desenvolvimento de Produtos	Frequência de lançamento	Tempo (meses)
<b>20</b>	Desenvolvimento de Produtos	Custo do material direto	Custo (R\$/produto)
<b>21</b>	Desenvolvimento de Produtos	Velocidade de inovação	Produtos/ano (un)
<b>22</b>	Organizacional	Quantidade de unidades autônomas	Unidades (un)
<b>23</b>	Organizacional	Quantidade de plantas	Unidades (un)
<b>24</b>	Organizacional	Quantidade de fornecedores	Unidades (un)
<b>25</b>	Organizacional	Quantidade de terceirizações	Unidades (un)

A segunda coluna do Quadro 11 corresponde à área onde a MD é aplicada; a terceira coluna apresenta uma descrição dos indicadores identificados; a quarta coluna contém a unidade de medida de cada indicador.

Dessa forma, a abordagem identificou um total de 25 indicadores, sendo alguns não encontrados na revisão de literatura realizada nesse trabalho, fazendo com que essa etapa da pesquisa tenha atingido os objetivos propostos.

## 5. CONCLUSÃO

O intuito da Modelagem de Equações Estruturais (SEM) foi estudar a relação entre as variáveis em conjunto. Se as relações fossem estudadas independentemente, os resultados não expressariam bem a realidade, pois as variáveis não existem independentemente. Assim a forma mais correta foi considerar um modelo de equações estruturais apenas, contendo todas as relações de interesse.

Neste sentido, a SEM confirmou apenas a hipótese 2 (relação entre MD e OR), já que há correlação positiva e estatisticamente significativa entre as dimensões. Correlação positiva significa que quanto maior for a modularidade do produto, maior tende a ser a organizacional (e vice-versa).

Como observou-se que há correlação estatisticamente significativa entre as dimensões, desenvolvimento de produtos (PD), produção (PR) e organizacional (OR), pode ser que o modelo ajustado sofra de multicolinearidade, que ocorre quando as variáveis que buscam explicar uma outra (nesse caso essas dimensões buscam explicar a MD) estão correlacionadas.

Se de fato houver multicolinearidade, pode acontecer de a correlação entre essas dimensões e a MD sejam influenciadas e não expressem exatamente a realidade, de forma a não serem significativas quando deveriam, ou vice-versa. Esse fato não invalida o estudo, mas há a necessidade de estudar mais a fundo a relação entre as variáveis aqui consideradas em estudos futuros.

Em relação à aplicabilidade prática, o modelo mostrou-se com capacidade para explicar satisfatoriamente os eventos que nele estão inseridos. O modelo proposto consiste num guia de como a estratégia modular pode ser aplicada em áreas estratégicas e operacionais das empresas e subsidia a tomada de decisão, pois determina quais dessas operações precisam ser adequadas à modularidade.

Por meio dele, são analisados agentes endógenos, passíveis de controle e otimização, relacionados ao ambiente interno da empresa (produção, desenvolvimento de produtos), e exógenos, relacionados a fatores externos (terceirização, rede de fornecedores, cadeia de suprimentos). Esses fatores influenciam diretamente os resultados organizacionais. Podem ser um diferencial reconhecido pelos clientes da empresa, que garanta a sua competitividade de

mercado, como uma variedade de produtos ou uma produção eficiente que atenda às demandas no tempo determinado.

O modelo, incorporado com indicadores, serve como guia para desenvolver e implementar produtos modulares, sendo aplicável a empresas de quaisquer ramos de atividades, mesmo que para isso, seja necessário fazer adequações específicas às características de cada uma, conforme evidenciado nos estudos de caso.

De maneira geral, os estudos de caso nas três montadoras corroboraram com a literatura, evidenciando as vantagens e os benefícios resultantes da aplicação da modularidade do produto na produção, no desenvolvimento de produtos e na organização.

Entretanto, alguns aspectos merecem destaque e devem ser considerados. A terceirização do projeto de módulos, variável (PD1) do modelo, não é praticada por nenhuma das três montadoras abordadas, embora tenha sido validada pelos procedimentos estatísticos aplicados. Para continuidade deste estudo, recomenda-se pesquisar os motivos que levam as montadoras não terceirizarem os projetos.

Nas montadoras que apresentam sistema de produção *make to order* (produzir por pedido), caracterizados por volumes relativamente baixos, a variável (PR4), automação de processos - não é empregada. Somente na montadora C, que possui produção em massa, a automação de processos é incentivada e facilitada pela MD.

Outro ponto evidenciado nos estudos de caso é que em sistemas de produção por células de montagem (montadora Máquinas e Equipamentos) a MD exerce pouca influência sobre a PR, visto que postos de trabalho variam de acordo com o produto a ser montado e a automação não é facilitada devido à grande variação de modelos. Ou seja, a customização do produto e a flexibilidade de produção contrariam a automação de processos, pelo menos no cenário da montadora (Máquinas e Equipamentos). Este é outro ponto que motiva o aprofundamento em estudos futuros.

A capacidade de customização do produto, indicada pela variável (PR6) no modelo, não é praticada pela montadora (Eletrodomésticos), que possui sistema de produção altamente automatizado, preparado para atender altos volumes de produção. Neste caso a montadora segue direção contrária à montadora (Máquinas e Equipamentos). Há uma relação entre volume de produção, sistemas de

produção, automação e customização em massa que carece de investigação mais profunda. Trabalhos futuros nesta temática devem verificar uma possível extensão deste resultado mediante a inclusão de outras empresas na amostra.

A *survey* realizada com empresas brasileiras indicou que 36% dos respondentes ainda não aplicam a estratégia da modularidade e 60% entendem que a modularidade pode trazer benefícios estratégicos e operacionais, reforçando a necessidade de estudos práticos e objetivos para investigar os efeitos, implicações e dificuldades decorrentes da adoção da estratégia. Neste sentido, ampliar o campo de abrangência da *survey* a fim de se obter resultados mais ajustados, são oportunidades de pesquisas futuras.

A abordagem realizada em campo com o objetivo de identificar indicadores que possam medir a eficiência e evidenciar os efeitos resultantes do emprego da MD, resultou em um total de 25 indicadores, sendo alguns não encontrados na revisão de literatura realizada nesse trabalho.

Os indicadores indicam uma relação entre MD e PR, PD e OR. Uns indicadores, comumente utilizados na gestão e tomada de decisão, mostram a efetividade de um produto com maior grau de modularidade sobre outro (s) com menor grau de modularidade ou produtos não modulares (produtividade; produção; número de sub-montagens).

Outros indicadores demonstram os resultados da MD sobre processos, desenvolvimento de produtos e a nível organizacional (número de robôs por linha; frequência de lançamento de novos produtos; quantidade de fornecedores). Por fim, foram evidenciados indicadores que estão diretamente relacionados à MD (número de módulos de produto e a quantidade de componentes por produto).

O resultado do estudo corrobora os efeitos da MD no desempenho empresarial. A importância dos indicadores está sujeita ao tipo de empresa que esteja incluída na pesquisa. Além disso, são as especificidades de cada empresa que definirão as medidas de desempenho a usar, dado que um mesmo indicador pode implicar no uso de diferentes métricas. Pesquisar outras empresas, de segmentos diversos e identificar se há similaridade no uso de indicadores, configura-se em uma oportunidade para estudo futuro.

Por fim realizar mais estudos de como incorporar indicadores em modelos desenvolvidos a partir da literatura e de como transformar esse conceito em uma ferramenta que traga benefícios práticos para quem a utilize.

Dentre as limitações da pesquisa podem ser destacadas: (i) o tamanho da amostra para validação do modelo que, apesar de todo esforço de coleta de dados, contou com apenas 90 empresas respondentes; (ii) a restrição de analisar alguns setores da indústria brasileira; (iii) o foco no setor automotivo e em montadoras; (iv) ampliar a abordagem da pesquisa para fornecedores de 1º e 2º nível a fim de aprimorar o entendimento da MD nessas camadas; (v) a relativa complexidade do modelo proposto constituído por um grande número de itens por dimensão, em relação ao tamanho da amostra observada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L.D.A.F.; FIACONE, R.L.; SANTOS, C.A.S.T.; MORAES, L.T.L.P.; OLIVEIRA, N.F.; OLIVEIRA, S.B.; SANTOS, T.N.L. Modelagem com Equações Estruturais: Princípios Básicos e Aplicações. Salvador, 2012.

AKINC, U.; MEREDITH, J.R. Make-to-forecast: customization with fast delivery. International Journal of Operations & Production Management, v.35, n.5, p.728-750, 2015.

ARGYRES, N.; BIGELOW, L. Innovation, Modularity, and Vertical Disintegration: Evidence from the Early US Auto Industry. Organization Science, v.21, n.4, 2010.

ARNHEITER E. D.; HARREN. H. Quality management in a modular world. Lally School of Management and Technology, Rensselaer Polychnic Institute, Hartford, Connecticut, v.18, n.1, 2005.

ASAN, U.; POLAT, S.; SERDAR, S. An integrated method for designing modular products. Journal of Manufacturing Technology Management, v.15, n.1, p.29-49, 2004.

ASAN, U.; POLAT, S.; SANCHEZ, R. Scenario-driven modular design in managing market uncertainty. International Journal of Technology Management, v.42, n.4, p.459-487, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETTRÔNICA – ABINEE. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/prog02.htm>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – ABIMAQ. Disponível em: < <http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Abimaq-Informativo-Mensal-Infomaq?DetalheClipping=105&CodigoClipping=2347>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020, p.143, São Paulo, 2020.

BALDWIN, C.Y; CLARK, K.B. Managing in an age of modularity. Harvard Business Review, v.75, n.5, 1997.

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. The value, costs and organizational consequences of modularity. Detroit: General Motors Research and Development Center, 2003.

BALDWIN, C.Y.; CLARK, K.B. Modularity in the Design of Complex Engineering System, 2004, disponível em: [www.people.hbs.edu/cbaldwin/dr2/baldwinclarkces.pdf](http://www.people.hbs.edu/cbaldwin/dr2/baldwinclarkces.pdf).

BARDIN L. L'Analyse de contenu. Editora: Presses Universitaires de France, 1977.

BASK, A.; LIPPONEN, M.; RAJAHONKA, M.; TINNILA M. The concept of modularity: Diffusion from manufacturing to service production. Journal of Manufacturing Technology Management, v.21, n.3, p.355-375, 2010.

BASK, A.; LIPPONEN, M.; RAJAHONKA, M.; TINNILA, M. Modularity in logistics services: A business model and process view. International Journal of Services and Operations Management, v.10, n.4, p.379-399, 2011.

BASK, A.; LIPPONEN, M.; RAJAHONKA, M.; TINNILA, M. Framework for modularity and customization: service perspective. Journal of Business & Industrial Marketing, v.26, n.5, 2011.

BAXTER, M. Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011. 344 p.

BOUNCKEN, R.B.; PESCH, R.; GUDERGAN, S.P. Strategic embeddedness of modularity in alliances: Innovation and performance implications. Journal of Business Research, 2015.

BRAX, S.A.; BASK, A.; HSUAN, J.; VOSS, C.A. Service modularity and architecture - an overview and research agenda. International Journal of Operations and Production Management, v.37, n.6, p.686-702, 2017.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A. Unpacking the black box of modularity: Technologies, products and organizations. Industrial and Corporate Change, v.10, n.1, p.179-204, 2001.



BRUSONI, S.; MARENGO, L.; PRENCIPE, A.; VALENTE, M. The value and costs of modularity: a problem-solving perspective. *European Management Review*, v.4, n.2, 2007.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A. Patterns of Modularization: The Dynamics of Product Architecture in Complex Systems. *European Management Review*, v.8, n.2, 2011.

BUENO, M.J.C.; VENDRAMETTO, O.; ALISANCIC, A. O consórcio modular como fator de competitividade: um estudo de caso na Volkswagen Resende e São Bernardo do Campo. In: IV Simpósio de Excelência e Gestão em Tecnologia – SEGeT, p.13, 2007.

BUSH, A. A.; TIWANA, A.; RAI, A. Complementarities Between Product Design Modularity and IT Infrastructure Flexibility in IT-Enabled Supply Chains. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.57, n.2, 2010.

CABIGIOSU, A.; ZIRPOLI, F.; CAMUFFO, A. Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry. *Research Policy*, v.42, n.3, 2013.

CAMPAGNOLO, D.; CAMUFFO, A. The concept of modularity in management studies: a literature review. *International Journal Management*, Rev.12:259-283, 2010.

CAMUFFO, A. Rolling out a "world car": globalization, outsourcing and modularity in the auto industry. *Korean Journal of Political Economy*. 2(1) 183-224, 2004.

CANIATO, F.; GROBLER, A. The moderating effect of product complexity on new product development and supply chain management integration. *Production Planning & Control*, v.26, n.16, p.1306-1317, 2015.

CARDOSO, M.; KISTMANN, V. B. Modularização e design na indústria automotiva: o caso do modelo Fox da Volkswagen do Brasil. *Revista Produção Online*, v.9, n.1, p.146-169, 2008.

CARIDI, M.; PERO, M.; SIANESI, A. Linking product modularity and innovativeness to supply chain management in the Italian furniture industry. *International Journal of Production Economics*, v.136, n.1, 2012.

CARNEVALLI, J.A.; MIGUEL, P.A.C; SALERNO, M.S. Aplicação da modularidade na indústria automobilística: análise a partir de um levantamento tipo survey, *Produção*, v.23, n.2, p.329-344, 2013.

CARNEVALLI, J.A.; SOUZA, J.E.R.; BENEDICTO, S.C.; SALERNO, M. S.; MIGUEL, P.A C. Modularidade em montadoras de automóveis: uma análise sob a ótica da estratégia. *Revista Produção Online* , v.15, p.433-457, 2015.

CHIN, W. W.; NEWSTED, P. R. Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares. In: HOYLE, R. H. *Statistical strategies for small sample research*. California: Sage Publications, Inc., p.307-341, 1999.

MIGUEL, P.A.C. Modularity in product development: a literature review towards a research agenda. *Product: Management & Development*, v.3, n.2, p.165-174, 2005.

CHAVEZ, R., YU, W., JACOBS, M.A., FENG, M. Manufacturing capability and organizational performance: the role of entrepreneurial orientation. *International Journal Production Economy*, v.184, p.33-46, 2017.

CHEN, K.M.; LIU, R.J. Interface strategies in modular product innovation. *Technovation*, v.25, n.7, 2005.

CHENG, L.C. Assessing performance of utilizing organizational modularity to manage supply chains: Evidence in the US manufacturing sector. *International Journal of Production Economics*, v.131, n.2, p.736-746, 2011.

CHEUNG, Y.; BAL, J. Process analysis techniques and tools for business improvements. *Business Process Management Journal*, v.4, n.4, 1998.

CHOU, J.; HUNG, C. Applying modular operators in platform development: Case of NTT DoComo i-mode. *Asia Pacific Management Review*, v.13, 2008.

DE MELLO, A.M.; MARX, R. Innovative capacity maintenance by automakers in a product development outsourcing scenario: the case of VW in Brazil. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.7, n.2/3, p.200-215, 2007.

DORAN, D. Supply chain implications of modularization. *International Journal of Operations & Production Management*, v.23, n.3-4, 2003.

DORAN, D.; HILL, A.; HWANG, K.S.; JACOB, G. Supply chain modularization: Cases from the French automobile industry. *International Journal of Production Economics*, v.106, n.1, 2007.

DOS SANTOS, A.C.; FORCELLINI, F.A. As relações do projeto de produtos com a cadeia de suprimentos: um estudo de caso no setor de eletrodomésticos. *Produção*, v.22, n.3, p.534-548, 2012.

DU, X.H.; JIAO, J.X.; TSENG, M.M. Architecture of product family: Fundamentals and methodology. *Concurrent Engineering-Research and Applications*, v.9, n.4, 2001.

ELGARD, P.; MILLER, T. D. Defining modules, modularity and modularization, design for integration in manufacturing. *Proceedings of the 13th IPS Research Seminar*, Fuglsoe, 1998, ISBN 87-89867-60-2. Aalborg University.

ERNST, R.; KAMRAD, B. Evaluation of supply chain structures through modularization and postponement. *European Journal of Operational Research*, v.124, n.3, 2000.

ETTLIE, J.E.; KUBAREK, M. Design reuse in manufacturing and services. *Journal of Product Innovation Management*, v.25, n.5, 2008.

FIXSON, S. K. Product architecture assessment: A tool to link product, process, and supply chain design decisions. *Journal of Operations Management*, v.23, n.3-4, p.345-369, 2005.

FOLTZ, C.B.; SCHWAGER, P.H.; ANDERSON, J.E. Why users (fail to) read computer usage policies. *Industrial Management & Data Systems*, v.108, n.6, p.701-712, 2008.

FORZA, C. Survey Research in Operations Management: a Process based Perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.152-194, 2002.

FREDRIKSSON, P.; GADDE, L.E. Flexibility and rigidity in customization and build-to-order production. *Industrial Marketing Management*, v.34, n.7, 2005.

FREDRIKSSON, P. Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system - The case of Volvo cars. *International Journal of Operations & Production Management*, v.26, n.3-4, 2006.

FUSCO, J.P.A. Unidades Estratégicas de Negócios - Uma Ferramenta para Gestão Competitiva da Empresa. *Gestão & Produção*, v.4, n.1, p.36-51, 1997

GALSWORTH, G. D. *Smart, Simple Design*, Essex Junction, Vermont: Oliver, 1994.

GARUD, R.; KUMARASWAMY, A. Technological designs for retention and reuse. *International Journal of Technology Management*, v.11, n.7-8, p.883-891, 1996.

GEUM, Y.; KWAK, R.; PARK, Y. Modularizing services: A modified HoQ approach. *Computers & Industrial Engineering*, v.62, n.2, 2012.

GIL, A.C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. Ed. Atlas, 5ª edição, São Paulo, 2006.

GONÇALVES FILHO, C.; GUERRA, R.S.; MOURA, A.I. Mensuração de Satisfação, Qualidade, Lealdade, Valor e Expectativa em Instituições de Ensino Superior: um estudo do modelo ACSI através de Equações Estruturais. *Gestão. Org, Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, v.2, n.1, jan.-abr., 2004.

GU, P.; SOSALE, S. Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v.15, n.5, 1999.

GUALANDRIS, J.; KALCHSCHMIDT, M. Product and process modularity: improving flexibility and reducing supplier failure risk. *International Journal of Production Research*, v.51, n.19, 2013.

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

HE, D.W.; KUSIAK, A. Designing an assembly line for modular products. *Computers & Industrial Engineering*, v.34, n.1, 1998.

HELFAT, C.E. Vertical firm structure and industry evolution. *Industrial and Corporate Change*, v.24, n.4, p.803-818, 2015.

HENRIQUES, F.E.; MIGUEL, P.A.C. Use of product and production modularity in the automotive industry: A comparative analysis of vehicles developed with the

involvement of Brazilian engineering centers. *Gestão da Produção, São Carlos*, v.24, n.1, p.161-177, 2017.

HOETKER, G. Do modular products lead to modular organizations? *Strategic Management Journal*, v.27, n.6, 2006.

HOLMQVIST, T.K.P.; PERSSON, M.L. Analysis and improvement of product modularization methods: their ability to deal with complex products. *Systems Engineering*, v.6, p.195-209, 2003.

HON, K. K. B. Performance and evaluation of manufacturing systems. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, v.54, n.2, p.139-154, Dec. 2005.

HSUAN, J.; HANSEN, P.K. Platform development: implications for portfolio management. *Gestão & Produção, São Carlos*, v.14, n.3, p.453-461, 2007.

HUANG, G.Q.; ZHANG, X.Y.; LIANG, L. Towards integrated optimal configuration of platform products, manufacturing processes, and supply chains. *Journal of Operations Management*, v.23, n.3-4, p.267-290, 2005.

HUANG, G.Q.; ZHANG, X.Y.; LO, V.H.Y. Integrated configuration of platform products and supply chains for mass customization: A game theory approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.54, n.1, p.156-171, 2007.

JABBOUR, A.B.L.S.; TEIXEIRA, A.A.; FREITAS, W.R.S; JABBOUR, J.C. Análise da relação entre manufatura enxuta e desempenho operacional de empresas do setor automotivo no Brasil. *Revista Administração, São Paulo*, v.48, n.4, p.843-856, 2013.

JACOBS, M.; VICKERY, S. K.; DROGE, C. The effects of product modularity on competitive performance: Do integration strategies mediate the relationship? *International Journal of Operations & Production Management*, v.27, n.9-10, 2007.

JACOBS, M.; DROGE, C.; VICKERY, S. K.; CALANTONE, R. Product and Process Modularity's Effects on Manufacturing Agility and Firm Growth Performance. *Journal of Product Innovation Management*, v.28, n.1, 2011.

JI, Y.; JIAO, R. J.; CHEN, L.; WU, C. Green modular design for material efficiency: A leader-follower joint optimization model. *Journal of Cleaner Production*, v.41, p.187-201, 2013.

JOSE, A.; TOLLENAERE, M. Modular and platform methods for product family design: literature analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v.16, n.3, 2005.

KAMRANI, A.K.; SALHIEH, S.M. *Product Design For Modularity*. 2ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Norwell, 2010.

KLINE, R.B. *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: Guilford, 2005.

KONG, F. B.; MING, X. G.; WANG, L.; WANG, X. H.; WANG, P. P. On Modular Products Development. *Concurrent Engineering Research and Applications*, v.17, n.4, 2009.

KRIKKE, H.; LE BLANC, I.; VAN DE VELDE, S. Product modularity and the design of closed-loop supply chains. *California Management Review*, v.46, n.2, 2004.

KUBOTA, F.I. *Modularity in design and modularity in production: an analysis through a theoretical framework and a field investigation in two automakers*. Thesis submitted to the Production Engineering Post-Graduate Program from the Federal University of Santa Catarina as a final requirement to obtain a Doctorate degree in Production Engineering, 2017.

KUBOTA, F.I.; HSUAN, J.; MIGUEL, P.A.C. Theoretical analysis of the relationships between modularity in design and modularity in production. *International Journal Advance Manufacturing Technology*, v.89, p.1943-1958, 2017.

KUMAR, S.; CHATTERJEE, A.K. A heuristic-based approach to integrate the product line selection decision to the supply chain. *International Journal of Production Research*, v.51, n.8, p.2399-2413, 2013.

KUSIAK, A. Integrated product and process design: A modularity perspective. *Journal of Engineering Design*, v.13, n.3, p.223-231, 2002.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR., J. A. V. Design science research: A research method to production engineering. *Gestão & Produção*, v.20, n.4, p.41-761, 2013.

LANGLOIS, R.N.; ROBERTSON, P.L. Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo component Industries. *Research Policy*, v.21, n.4, 1991.

LAU, A.K.W.; YAM, R.C.M.; TANG, E.P.Y. Supply chain integration and product modularity: An empirical study of product performance for selected Hong Kong manufacturing industries. *International Journal of Operations & Production Management*, v.30, n.1, 2010.

LAU, A.K.W. Supplier and customer involvement on new product performance: Contextual factors and an empirical test from manufacturer perspective. *Industrial Management and Data Systems*, v.111, n.6, p.910-942, 2011.

LAU, A.K.W. Critical success factors in managing modular production design: Six company case studies in Hong Kong, China, and Singapore. *Journal of Engineering and Technology Management*, v.28, n.3, 2011.

LAU, A.K.W.; YAM, R.C.M.; TANG, E. The impact of product modularity on new product performance: mediation by product innovativeness. *The Journal of Product Innovation Management*, v.28, n.2, p.270-284, 2011.

LIU, Z.; WONG, Y.S.; LEE, K.S. Modularity analysis and commonality design: a framework for the top-down platform and product family design. *International Journal of Production Research*, v.48, n.12, 2010.

LUNA, M.B.; FETTERMANN, D.; MIGUEL, P.A.C. Modularidade em serviços: aplicação em uma empresa de telecomunicações. *Revista Produção Online*, v.17, n.2, p. 641-666, 2017.

MACDUFFIE, J.P. Modularity-as-property, modularization-as-process, and 'modularity'-as-frame: lessons from product architecture initiatives in the global automotive industry. *Global Strategy Journal*, v.3, n.1, 2013.

MACEDO, M.A.S.; ALYRIO, R.D.; ANDRADE, R.O.B. Análise do Comportamento Decisório: um estudo junto a acadêmicos de administração. *Revista Ciências da Administração*, v.9, n.18, p. 35-55, 2007.

MARÔCO, J. Análise de Equações Estruturais: Fundamentos teóricos, software & aplicações. ReportNumber, Lda, p.384, 2010.

MCDERMOTT, G.; MUDAMBI, R.; PARENTE, R. Strategic modularity and the architecture of multinational firm. *Global Strategy Journal*, v.3, n.1, 2013.

MATSUNAGA, M. Item parceling in structural equation modeling: A primer. *Communication Methods and Measures*, v.2, n.4, p.260-293, 2008.

MELLO, C. H. P.; SALGADO, E. G. Mapeamento dos processos em serviços: estudo de caso em duas pequenas empresas da área de saúde. In: *ENEGEP*, v. 25, 2005, Porto Alegre. Anais...

MEYER, M.W. *Rethinking performance measurement: beyond the Balanced Scorecard*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

MIKKOLA, J.H.; GASSMANN, O. Managing modularity of product architectures: Toward an integrated theory. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.50, n.2, p.204-218, 2003.

MIKKOLA, J.H.; SKJOTT-LARSEN, T. Supply-chain integration: implications for mass customization, modularization and postponement strategies. *Production Planning & Control*, v.15, n.4, 2004.

MIKKOLA, J.H.; SKJOTT-LARSEN, T. Platform management: implication for new product development and supply chain management. *European Business Review*, v.18, n.3, p.214-230, 2006.

MIKKOLA, J.H. Capturing the degree of modularity embedded in product architectures. *Journal of Product Innovation Management*, v.23, n.2, 2006.

MORRIS, D.; DONNELLY, T.; DONNELLY, T. Supplier parks in the automotive industry *Supply Chain Management*. *International Journal*, v.9, n.2, 2004.

MUFFATTO, M. Introducing a platform strategy in product development. *International Journal of Production Economics*, v.60, n.1, 1999.

MUFFATTO, M.; ROVEDA, M. Product architecture and platforms: a conceptual framework. *International Journal of Technology Management*, v.24, n.1, 2002.

MURTAZA, M.B.; FISHER, D.J.; SKIBNIEWSKI, M.J. knowledge-based approach to modular construction decision support. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, v.119, n.1, 1993.



NAHMENS, I.; BINDROO, V. Is customization fruitful in industrialized homebuilding industry? *Journal of Construction Engineering and Management*, v.137, n.12, p.1027-1035, 2011.

NEVES, J.A.B. *Modelo de Equações Estruturais: Uma Introdução Aplicada*. ENAP: Escola Nacional de Administração Pública, p.81, Brasília, 2018.

NEWCOMB, P.J.; BRAS, B.; ROSEN, D.W. Implications of modularity on product design for the life cycle. *Journal of Mechanical Design*, v.120, n.3, 1998.

NUNES, F.L.; ROCHA, M.V.; DIAS, V.S.; ANTUNES JÚNIOR, J.A.V. Análise da modularização como estratégia em desenvolvimento de produtos. *Revista Espacios Caracas*, v.35, n.13, 2014.

PANDREMENOS, J.; PARALIKAS, J.; SALONITIS, K.; CHRYSSOLOURIS, G. Modularity concepts for the automotive industry: a critical review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v.1, n.3, p.148-152, 2009.

PARALIKAS, J.; FYSIKOPOULOS, A.; PANDREMENOS, J.; CHRYSSOLOURIS, G. Product modularity and assembly systems: An automotive case study. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, v.60, n.1, 2011.

PARENTE, R.C.; BAACK, D.W.; HAHN, E.D. The effect of supply chain integration, modular production, and cultural distance on new product development: A dynamic capabilities approach. *Journal of International Management*, v.17, n.4, 2011.

PATEL, P.C.; JAYARAM, J. The antecedents and consequences of product variety in new ventures: An empirical study. *Journal of Operations Management*, v.32, n.1-2, p.34-50, 2014.

PEKKARINEN, S.; ULKUNIEMI, P. Modularity in developing business services by platform approach. *International Journal of Logistics Management*, v.19, n.1, 2008.

PELEGRINI, A. V. O processo de modularização em embalagens orientado para a customização em massa: uma contribuição para a gestão do design. *Dissertação (Mestrado)*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PERO, M.; ABDELKAFI, N.; SIANESI, A.; BLECKER, T. A framework for the alignment of new product development and supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, v.15, n.2, 2010.

PERO, M.; STOBLEIN, M.; CIGOLINI, R. Linking product modularity to supply chain integration in the construction and shipbuilding industries. *International Journal of Production Economics*, v.170, p.602-615, 2015.

PERSSON, M.; AHLSTROM, P. Managerial issues in modularizing complex products. *Technovation*, v.26, n.11, 2006.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS. Lisboa: Sílabo, 2003..

PETRI, S.M. Modelo para apoiar a avaliação das abordagens de gestão de desempenho e sugerir aperfeiçoamentos: sob a ótica construtivista. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2005.

PIRAN, F.A.S.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; VIERO, C.F.; DRESCH, A.; MIGUEL, P.A.C. Product modularization and effects on efficiency: An analysis of a bus manufacturer using data envelopment analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, v.182, p.1-13, 2016.

PIRAN, F.A.S.; LACERDA, D.P.; CAMARGO, L.F.R.; VIERO, C.F.; TEIXEIRA, R.; DRESCH, A. Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.5, n.8, p.2331-2343, 2017.

PIRES, S. Gestão de cadeias de suprimento e o modelo de consórcio modular. *Revista de Administração*, São Paulo, v.33, julho - setembro, 1998.

PIRES, S.R.I.; SACOMANO NETO, M. Características estruturais, relacionais e gerenciais na cadeia de suprimentos de um condomínio industrial na indústria automobilística. *Produção*, v.20, n.2, p.172-185, 2010.

PUROHIT, J.K.; MITTAL, M.L.; MITTAL, S.; SHARMA, M.K. Interpretive structural modeling based framework for mass customization enablers: an Indian footwear case. *Production Planning & Control*, v.27, n.9, p.774-786, 2016.

RACHID, A.; SACOMANO NETO, M.; BENTO, P.E.G.; DONADONE, J.C.; ALVES FILHO, A.G. Organização do trabalho na cadeia de suprimentos: os casos de uma planta modular e de uma tradicional na indústria automobilística. *Produção*, v.16, n.2, p.189-202, 2006.

RAHIKKA, E.; ULKUNIEMI, P.; PEKKARINEN, S. Developing the value perception of the business customer through service modularity. *Journal of Business & Industrial Marketing*, v.26, n.5, 2011.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.

RO, Y.K.; LIKER, J.K.; FIXSON, S.K. Modularity as a strategy for supply chain coordination: The case of US auto. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.54, n.1, 2007.

RODRIGUES, E.A.; CARNEVALLI, J.A.; MIGUEL, P.A.C. Uma investigação sobre a relação entre o projeto do produto e produção em uma montadora automotiva e fornecedores de motores que adotam a modularidade. *Produção*, v.22, n.3, p.367-379, 2012.

ROSIN, J.O. Estudo e desenvolvimento de um método para projeto de produtos modulares. Monografia do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Industrial apresentada como requisito parcial para obtenção de título de Especialista em Engenharia Industrial, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Unijuí, 2017.

ROSSEEL, Y. lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, v.48, n.2, p.1-36, 2012.

ROZENFELD, H. *et al.* *A Fábrica do Futuro*. São Paulo: Saraiva, 2003.

SACOMANO NETO, M.; TRUZZI, O.M.S. Posicionamento estrutural e relacional em redes de empresas: uma análise do consórcio modular da indústria automobilística. *Gestão & Produção*, São Carlos, v.16, n.4, p.598-611, 2009.

SACOMANO NETO, M.; CORRÊA, D.A.; TRUZZI, O.M.S. Transferência de conhecimento em redes de empresas: um estudo em uma planta modular da indústria automotiva. *Revista Economia & Gestão*, v.15, n.41, p.33-56, 2015.

SAGHIRI, S.; BARNES, S.J. Supplier flexibility and postponement implementation: An empirical analysis. *International Journal Production Economics*, v.173, p.170-183, 2016.

SAKO, M.; MURRAY, F. Modules in design, production and use: implications for the global automotive industry. In: *Gerpisa International Colloquium*, 2000, Paris. *Proceedings...* Paris, 2000.

SALERNO, M.S.; CAMARGO, O.S., LEMOS, M.B. Modularity ten years after: An evaluation of the Brazilian experience. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.8, n.4, p.373-381, 2008.

SALERNO, M. S.; MARX, R., ZILBOVICIUS, M.; DIAS, A. V. C. The importance of locally commanded design for the consolidation of local supply chain: the concept of design headquarters. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.16, n.4, p.361-376, 2009.

SALVADOR, F.; FORZA, C.; RUNGTUSANATHAM, M. Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. *Journal of Operations Management*, v.20, n.5, 2002.

SALVADOR, F.; FORZA, C.; RUNGTUSANATHAM, M. Supply-chain configurations for mass customization. *Production Planning & Control*, v.15, n.4, 2004.

SALVADOR, F. Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.54, n.2, 2007.

SALVADOR, F.; VILLENA, V. Supplier Integration and NPD Outcomes: Conditional Moderation Effects of Modular Design Competence. *Journal of Supply Chain Management*, v.49, n.1, 2013.

SANCHEZ, R.; MAHONEY, J.T. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic Management Journal*, v.17, 1996.

SANCHEZ, R. Modular architectures in the marketing process. *Journal of Marketing*, v.63, 1999.

SANCHEZ, R. Modular architectures, knowledge assets and organizational learning: new management processes for product creation. *International Journal of Technology Management*, v.19, n.6, 2000.

SCAVARDA, L.F.; BARBOSA, T.P.W.; HAMACHER, S. Comparação entre as Tendências e Estratégias da Indústria Automotiva no Brasil e na Europa. *Gestão & Produção*, v.12, n.3, p.361-375, 2005.

SCAVARDA, L.F.; REICHHART, A.; HAMACHER, S.; HOLWEG, M. Managing product variety in emerging markets. *International Journal of Operations & Production Management*, v.30, n.2, 2010.

SCHILLING, M.A. Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. *Academy of Management Review*, v.25, n.2, 2000.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P.A.C. Análise da descentralização no desenvolvimento de novos produtos: uma investigação em uma empresa do setor de veículos comerciais. *Production*, v.24, n.1, p.118-131, 2014.

SELIGER, G.; KERNBAUM, S.; ZETTL, M. Remanufacturing approaches contributing to sustainable engineering. *Gestão & Produção*, v.13, n.3, p.367-384, 2006.

SHAMSUZZOHA, A.; HELO, P.T.; KEKÄLE, T. Application of modularity in world automotive industries: A literature analysis. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.10, n.4, p.361-377, 2010.

SHENHAR, A.J.; DVIR, D. How projects differ, and what to do about it. In: *The Wiley Guide to Managing Projects*, Wiley & Sons, p. 1265-86, 2004.

SILVA, A.C.S.; NUNES, F.; KLINGENBERG, C.; CHIKÁ, L.; AGUIAR, N. A modularização e a indústria 4.0. In *Conference: II SIGEPRO - Simpósio Gaúcho de Engenharia de Produção*, Novo Hamburgo, RS, 2017.

SONEGO, M. Métodos de modularização no projeto conceitual de desenvolvimento de produtos. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) - Programa de

pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SONEGO, M.; ECHEVESTE, M.S. Seleção de métodos para modularização no desenvolvimento de produtos: revisão sistemática. *Production*, v.26, n.2, p.476-487, 2015.

SOUSA, R.; VOSS, C. Quality management: Universal or context dependent? *Production and Operations Management*, v.10, n.4, p.383-404, 2001.

SOUZA, R. Case Research in Operations Management. EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management, Brussels, Belgium, 31st Jan.-4th Feb, 2005.

STABLEIN, T.; HOLWEG, M.; MIEMCZYK, J. Theoretical versus actual product variety: how much customization do customers really demand? *International Journal of Operations & Production Management*, v.31, n.3, 2011.

STARR, M.K. Modular production - a new concept. *Harvard Business Review*, v.43, n.6, 1965.

STAUDENMAYER, N.; TRIPSAS, M.; TUCCI, C.L. Interfirm modularity and its implications for product development. *Journal of Product Innovation Management*, v.22, n.4, 2005.

SUSHANDOYO, D.; BERGGREN, C.; MAGNUSSON, T. Greening public transportation: A radical design and powertrain project at an incrementalist innovator. The case of the series-hybrid bus project at Scania Trucks. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v.10, n.1, p.93-114, 2010.

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.

TANG, M.; QI, Y.; ZHANG, M. Impact of Product Modularity on Mass Customization Capability: An Exploratory Study of Contextual Factors. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v.16, n.4, p.939-959, 2017.

TOCCHETTO, M. R. L.; PEREIRA, L. C. Seleção de indicadores ambientais para indústria com atividade galvânica. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL

DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, v.28, 2004, Curitiba. Anais... Paraná: Anpad, 2004.

TYAGI, S.; YANG, K.; TYAGI, A.; VERMA, A. A Fuzzy Goal Programming Approach for Optimal Product Family Design of Mobile Phones and Multiple Platform Architecture. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews, v.42, n.6, p.1519-1530, 2012.

TSUKUNE, H.; TSUKAMOTO, M.; MATSUSHITA, T.; TOMITA, F.; OKADA, K.; OGASAWARA, T.; TAKASE, K.; YUBA, T. Modular manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, v.4, n.2, 1993.

TSVETKOVA, A.; GUSTAFSSON, M. Business models for industrial ecosystems: A modular approach. Journal of Cleaner Production, v.29-30, p. 246-254, 2012.

TU, Q.; VONDEREMBSE, M.A.; RAGU-NATHAN, T.S.; RAGU-NATHAN, B. Measuring modularity-based manufacturing practices and their impact on mass customization capability: A customer-driven perspective. Decision Sciences, v.35, n.2, 2004.

TUUNANEN, T.; CASSAB, H. Service Process Modularization: Reuse versus Variation in Service Extensions. Journal of Service Research, v.14, n.3, 2011.

ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. Research Policy, v.24, p.419-440, 1995.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. Product Design and Development. 5ed. Mc Graw Hill, Irwin New York, 2012.

WARD, P.T.; MCCREERY, J. K.; RITZMAN, L. P. Competitive priorities in operations management. Decision Sciences, v.29, n.4, 1035-1046, 1998.

WHEELWRIGHT, S.C. Manufacturing strategy: defining the missing link. Strategic Management Journal, v.5, n.1, p.77-91, 1984.

VELOSO, F.; FIXSON, S. Make-buy decisions in the auto industry: New perspectives on the role of the supplier as an innovator. Technological Forecasting and Social Change, v.67, n.2-3, 2001.

VIANA, A.B.N. Estatística aplicada a administração: análise do uso em pesquisa na área e construção de ambiente virtual de ensino-aprendizagem. Tese de Livre Docência. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2005.

VICKERY, S.K.; BOLUMOLE, Y.A.; CASTEL, M.J.; CALANTONE, R.J. The effects of product modularity on launch speed. *International Journal of Production Research*, v.53, n.17, p.5369-5381, 2015.

VIERO, C.F.; NUNES, F.L. Módulo, modularidade, modularização e produto modular: uma análise bibliográfica a partir de uma evolução histórica conceitual. *Revista Espacios*, v.37, n.3, 2015.

VOSS, C. A.; HSUAN, J. Service Architecture and Modularity. *Decision Sciences*, v.40, n.3, 2009.

WANG, G.X.; HUANG, S.H.; SHANG, X.W.; YAN, Y.; DU, J.J. Formation of part family for reconfigurable manufacturing systems considering bypassing moves and idle machines. *Journal Manufacturing System*, v.41, p.120-129, 2016.

WANG, G.X.; HUANG, S.H.; YAN, Y.; DU, J.J. Reconfiguration schemes evaluation based on preference ranking of key characteristics of reconfigurable manufacturing systems. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, v.89, p.2231–2249, 2017.

WANG, Z.; ZHANG, M.; SUN, H.; ZHU, G. Effects of standardization and innovation on mass customization: An empirical investigation. *Technovation*, v.48-49, p.79-86, 2016.

WINTER S. Knowledge and Competence as Strategic Assets. In: KLEIN, D. (ed.). *The Strategic Management of Intellectual Capital*, Woburn, MA, 1998.

WORREN, N.; MOORE, K.; CARDONA, P. Modularity, strategic flexibility, and firm performance: A study of the home appliance industry. *Strategic Management Journal*, v.23, n.12, 2002.

YANG, Q.; YU, S.; SEKHARI, A. A modular eco-design method for life cycle engineering based on redesign risk control. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.56, p.9-12, 2011.



YANG, Q.; YU, S.; JIANG, D. A modular method of developing an eco-product family considering the reusability and recyclability of customer products. *Journal of Cleaner Production*, v.64, p.254-265, 2014.

YIGIT, A.S.; ULSOY, A.G.; ALLAHVERDI, A. Optimizing modular product design for reconfigurable manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v.13, n.4, 2002.

YIN, R.K. *Case Study Research: Design and Methods*. 5th Ed. California: Sage Publications, 2014.

YIN, Y.; STECKE, K.E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, v.56, n.1-2, p.848-861, 2018.

ZHANG, M.; ZHAO, X.; QI, Y. The effects of organizational flatness, coordination, and product modularity on mass customization capability. *International Journal of Production Economics*, v.158, 2014.

ZHANG, W. Y.; TOR, S. Y.; BRITTON, G. A. Managing modularity in product family design with functional modeling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.30, n.7-8, 2006.

ZHU, F.W.; SUN, X.X.; MILLER, J.; DENG, Z-J. Innovations in knowledge management: Applying modular design. *International Journal of Innovation Science*, v.6, n.2, p.83-95, 2014.

ZIRPOLI, F.; BECKER, M.C. The limits of design and engineering outsourcing: performance integration and the unfulfilled promises of modularity. *R & D Management*, v.41, n.1, 2011.

## APÊNDICE 1: QUESTIONÁRIO APLICADO NOS ESTUDOS DE CASO NAS MONTADORAS

Objetivos:

1. Identificar o nível de adoção da modularidade nas empresas pesquisadas
2. Analisar a relação entre a modularidade e áreas estratégicas e operacionais
3. Coletar informações quantitativas para o desenvolvimento de projetos de pesquisa
4. Identificar indicadores que evidenciem a relação entre a modularidade do produto e as demais áreas

1. Informações da empresa

1.1. Nome da empresa \_\_\_\_\_

1.2. Identificar o segmento de atuação de sua empresa

Automotivo

Máquinas e Equipamentos

Eletrodomésticos

Outros (especificar): \_\_\_\_\_

1.3. Principal responsável pelo preenchimento deste questionário:

\_\_\_\_\_

Posição na empresa: \_\_\_\_\_

Departamento: \_\_\_\_\_

Telefone: ( \_\_ ) \_\_\_\_\_ Tempo de empresa: \_\_\_\_\_ anos \_\_\_\_\_ meses

E-mail: \_\_\_\_\_@\_\_\_\_\_

1.4. Qual é o número aproximado de funcionários na empresa?

\_\_\_\_\_

Marque se você deseja manter o nome da empresa em sigilo.

2. Aplicação da modularidade do produto

Definição: Modularidade do Produto / Design (consiste em projetar produtos modulares que definem módulos, suas funções e interfaces para que sejam independentes, mas trabalhem no produto de forma independente)

2.1. De acordo com a definição acima, sua empresa aplica a modularidade do produto? (Por favor, selecione apenas uma alternativa).

Sim (ir para a questão 2.3)

Não (ir para a questão 2.2)

Implementando (ir para a questão 2.3)

Não sei responder

2.2. Indique por que a empresa nunca usou a modularidade do produto (você pode escolher mais de uma opção):

- Não conhece o conceito de modularidade
- Dificuldades em encontrar fornecedores capazes de montar os módulos
- Aumentar a dependência da empresa com outras empresas da cadeia de suprimentos
- Medo de perder o controle do projeto devido ao seu desenvolvimento em várias empresas
- Aumenta os custos de mão-de-obra
- Precisa de um investimento significativo para implementar
- Outras razões: \_\_\_\_\_

2.3. O desenvolvimento do produto é realizado internamente na sua empresa?

- Sim
- Não
- Não sei responder

2.4. Existem relações entre a modularidade do produto e áreas estratégicas e operacionais (design, produção, organizacional)?

- Sim
  - Não
- Se sim, especifique: \_\_\_\_\_

### 3. Implementação da modularidade

3.1. Além da modularidade do produto, que tipo ou tipos de modularidade a sua empresa adota? (Você pode marcar mais de uma opção)

- Produção (consiste em simplificar os processos de fabricação e montagem e pode ou não transferir qualquer uma dessas atividades para fornecedores)
- Processos organizacionais (consiste em alterar os processos de fabricação e os procedimentos organizacionais da empresa, bem como as mudanças nos relacionamentos com os fornecedores, para adotar a produção modular)
- Uso (consiste em adaptar o produto final aos requisitos do cliente, alterações nos módulos, que podem ser opcionais ou para melhorar o desempenho)
- Não sei responder
- Outros (por favor, especifique): \_\_\_\_\_

3.2. Por que a empresa adotou a estratégia modular? Indique em uma escala de 1 a 5 os principais motivos que levaram a empresa a adotar a modularidade do produto. (1 - Discordo totalmente; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não discordo, nem concordo; 4 - Concordo parcialmente e; 5 - Concordo totalmente). (Selecione uma opção para cada item da lista e distribua as notas).

- Reduzir a complexidade do produto
- Reduzir os recursos necessários para desenvolver o projeto (por exemplo: os módulos podem ser projetados de forma independente pelos fornecedores)
- Reduzir o tempo de entrega
- Aumentar a variedade de produtos
- Permitir a customização em massa
- Aumentar a flexibilidade do produto
- Reduzir o tempo de montagem
- Reduzir os custos de fabricação porque os módulos são fabricados independentemente
- Reduzir a mão de obra direta na linha de montagem
- Reduzir o número de fornecedores
- Outras razões (especifique):  

---

#### 4. Resultados

4.1. Indique em uma escala de 1 a 5 os benefícios na aplicação da modularidade do produto (1 - discordo totalmente; 2 - discordo parcialmente; 3 - não discordo nem concordo; 4 - concordo parcialmente e; 5 - Concordo plenamente). Caso contrário, vá para a pergunta 6.1b. (Selecione uma opção para cada item da lista) (se possível, distribua as notas):

- Agiliza a introdução de novos modelos pois os módulos podem ser projetados independentemente
- Tempo de entrega do produto reduzido (produto final, módulos ou submódulos)
- Possibilita o aproveitamento (ou atualização) de módulos conforme o lançamento de novas versões de um produto
- Permite a utilização de módulos e componentes comuns a diversos produtos
- Possibilidade de combinação de diferentes módulos aumentando a variedade de produtos
- Facilita a atualização e inovação do produto pela troca ou aprimoramento de módulos
- Os módulos podem ser desenvolvidos de forma independente, por fornecedores capacitados
- Custos de projeto reduzidos porque os módulos podem ser projetados independentemente
- Aumentou a parceria entre a montadora e o fornecedor pela participação dos fornecedores no desenvolvimento de novos produtos junto à montadora
- Permite a customização do produto, ou seja, o produto pode ser ajustado e/ou combinado conforme as necessidades e expectativas do cliente
- Redução e simplificação das operações na linha de montagem
- Tamanho reduzido da linha de montagem e aumento de sub-montagens

- Padronização dos processos de montagem, dos dispositivos e dos testes
- Redução dos custos de manutenção em dispositivos e linhas de montagem
- Maior flexibilidade de produção, pois os módulos podem ser montados em diferentes configurações de linha de montagem
- Capacidade da produção em reduzir o tempo de resposta às demandas devido à padronização de módulos e processos
- Possibilidade de automação dos processos devido à padronização de componentes, módulos e interfaces de montagem
- Fabricação independente dos módulos por fornecedores capacitados (sistemistas)
- Redução de custos fixos da mão de obra direta
- Aumento da capacidade de postergação da produção devido os módulos serem fabricados por terceiros
- Facilita a reorganização do lay-out fabril ou a transferência dos processos de manufatura para outras localidades (novas plantas) para atender as demandas da empresa
- Permite a divisão das operações internas (desenvolvimento e produção) em grupos focados em atividades-chave.
- Faz com que a empresa desenvolva competências ao longo do tempo no âmbito dos seus diversos processos de negócio.
- Redução do número de fornecedores
- Reduzido o número de itens em estoque
- Permite a transferência de informações no desenvolvimento de produtos/processos, colaborando para o aprimoramento do conhecimento técnico e gerencial dos fornecedores. Transferência de know-how
- Rede de fornecedores capacitados para atender aos requisitos de desenvolvimento e produção dos módulos
- Outros (especificar) \_\_\_\_\_

4.2. Indique em uma escala de 1 a 5 os principais problemas encontrados durante a implementação da modularidade do produto (1 - discordo totalmente; 2 - discordo parcialmente; 3 - não concordo nem concordo; 4 - concordo parcialmente e; 5 - concordo totalmente). (Selecione uma opção para cada item da lista e distribua as notas):

- Definir o produto modular de acordo com os processos de fabricação existentes
- Risco de perder o controle de alguns projetos, porque os módulos são projetados separadamente
- Redesenhar produto e processo
- Aumento dos custos de mão-de-obra devido ao aprimoramento da mão de obra direta e dos fornecedores
- Aumento do risco de parada das linhas de montagem se houver problemas de entrega ou qualidade
- Pode limitar o design dos módulos às capacidades atuais dos fornecedores para fabricá-los
- Encontrar fornecedores qualificados para fabricar os módulos

- Alterar a cadeia de suprimentos da estrutura tradicional para a estrutura modular
  - Transferir as operações menos importantes para fornecedores
  - Alto investimento para realizar uma mudança organizacional para atender à estratégia modular
  - Alto investimento para reorganizar a produção modular
  - A capacidade operacional (linhas de montagem, máquinas, lay-out) limita a implantação de produtos modulares
  - Dependendo da capacidade de entrega dos fornecedores
  - Ter fornecedores próximos e/ou exclusivos
  - Capacitar e gerenciar fornecedores para atender à demanda da produção modular
  - Outras dificuldades / limitações (especificar):
- 

## 5. Indicadores

5.1. Ao analisar as informações acima, é possível perceber que as dimensões qualidade, produtividade, tempo e custos são comuns aos benefícios e dificuldades de se implementar a estratégia da modularidade do produto. Neste contexto é importante medir o impacto que a modularidade traz para a empresa, melhorando o nível de conhecimento interno da organização. Dessa forma, indique quais dos indicadores abaixo são utilizados na empresa para a gestão das áreas de produção, desenvolvimento de produtos e processos organizacionais.

<b>Descrição dos indicadores</b>	<b>Classificação</b>
<input type="checkbox"/> Número de postos de trabalho na linha de montagem	Capacidade
<input type="checkbox"/> Tempo de linha parada	Capacidade
<input type="checkbox"/> Custo de estoque de componentes	Financeiros
<input type="checkbox"/> Custo de desenvolvimento de novos produtos	Financeiros
<input type="checkbox"/> Custo de treinamento de operadores	Financeiros
<input type="checkbox"/> Percentual de projetos liderados por contratados	Capacidade
<input type="checkbox"/> Produtividade	Produtividade
<input type="checkbox"/> Número de componentes reutilizáveis por projeto	Inovação
<input type="checkbox"/> Percentual de componentes reutilizáveis em novos projetos	Inovação
<input type="checkbox"/> Percentual de componentes específicos em novos projetos	Inovação
<input type="checkbox"/> Custo de inventário	Financeiros
<input type="checkbox"/> Número de sub-montagens	Capacidade
<input type="checkbox"/> Número de terceirizações	Capacidade
<input type="checkbox"/> Quantidade de módulos comuns e exclusivos	Inovação
<input type="checkbox"/> Tempo de desenvolvimento de produto	Lead Time

<input type="checkbox"/>	Tempo do produto no mercado	Time to Market
<input type="checkbox"/>	Grau de inovação de produto	Inovação
<input type="checkbox"/>	Frequência de introdução de novos de produtos	Time to Market
<input type="checkbox"/>	Número de itens que compõem a estrutura do produto	Financeiros
<input type="checkbox"/>	Número de processos necessários para produzir o produto	Capacidade
<input type="checkbox"/>	Número de projetos desenvolvidos em um determinado período	Produtividade
<input type="checkbox"/>	Número de pessoas envolvidas em projetos	Capacidade
<input type="checkbox"/>	Número de itens não compartilhados com outros produtos	Inovação
<input type="checkbox"/>	Número de pessoas envolvidas no processo de produção	Capacidade
<input type="checkbox"/>	Investimentos em P&D	Financeiros
<input type="checkbox"/>	Número de itens comuns por projeto	Inovação
<input type="checkbox"/>	Número de módulos por produto	Inovação
<input type="checkbox"/>	Quantidade de terceirizações	Capacidade
<input type="checkbox"/>	Qualidade da fabricação	Qualidade
<input type="checkbox"/>	Custo de fabricação	Financeiros

Outros indicadores (especificar):

---



---

Obrigado pelas respostas e pela ajuda!

**Rogério Camargo Benez**

(14) 99137-2653

rbenez1@gmail.com