



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Mateus Lemos Simon

A INFLUÊNCIA DA COMPLEXIDADE

NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

DO CONSÓRCIO MODULAR

GUARATINGUETÁ

2016

MATEUS LEMOS SIMON

**A INFLUÊNCIA DA COMPLEXIDADE
NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL
DO CONSÓRCIO MODULAR**

Defesa de qualificação de dissertação
apresentada à Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte do processo para
a obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior

Sponsor: Marcelo Peixoto

GUARATINGUETÁ

2016

S595i	Simon, Mateus Lemos A Influência da complexidade na eficiência operacional do consórcio modular / Mateus Lemos Simon – Guaratinguetá, 2016. 74 f. : il. Bibliografia: f. 70-73 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Júnior 1. Customização em Massa 2. Administração de produtos 3. Eficiência industrial I. Título CDU 658.5 (043)
-------	--

MATEUS LEMOS SIMON

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

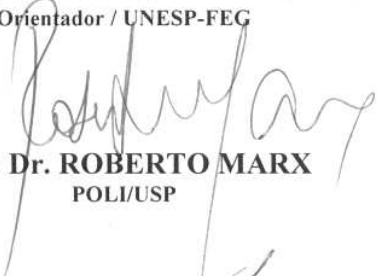
**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Jorge Muniz Junior
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. ROBERTO MARX
POLI/USP


Dr. BRUNO CHAVES FRANCO

DADOS CURRICULARES

Mateus Lemos Simon

NASCIMENTO	23.09.1981 – RESENDE / RJ
FILIAÇÃO	Carlos Alberto Simon Ana Lúcia Lemos Simon
1999/2007	Curso de Graduação Eng. Produção Mecânica – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
2010/2011	Curso de Pós Graduação em Gestão de Negócios nível <i>lato sensu</i> pela Fundação Dom Cabral (FDC)

“Dedico este trabalho à minha esposa Camila, que durante um tempo, trabalhou por dois.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade e por me amparar nesse período, colocando no meu caminho pessoas sensacionais, sem as quais nada disso seria possível.

A minha família, que sempre me apoiou.

Ao orientador Professor Doutor Valério Salomon pelos conselhos e incentivo, aos Professores Doutores Jorge Muniz e Bruno Franco por todo suporte durante a pesquisa.

A equipe da MAN Latin America, meus colegas de trabalho Luiz Nascimento, Cesar Ramos, Luiz de Carvalho e Mauro Simões. E também ao Sponsor da pesquisa Marcelo Peixoto.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

SIMON, M. L. A influência da Complexidade na Eficiência Operacional do Consórcio Modular. 2016, 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Em busca de competitividade, as montadoras vêm aumentando seu portfólio de produtos para ampliar vendas, mas com isso são desafiadas a produzir com maior variedade e maior volume de produção. O gerenciamento das novas peças em conjunto com as antigas aumenta a complexidade do sistema produtivo. O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre complexidade e eficiência operacional em operações de alto volume de produção e alta variedade de produtos, típicas na produção de veículos comerciais como caminhões e ônibus. O estudo é realizado no Consórcio Modular. A Literatura recente evidencia oportunidades de pesquisa para melhor entendimento sobre complexidade como forma de perseguir as necessidades do cliente, oferecer produtos personalizados e lidar com customização em massa sem perder de vista o desempenho operacional.

PALAVRAS-CHAVE: *Complexidade; Customização em Massa; Variedade de produtos; Eficiência Operacional*

SIMON, M. L. Complexity influence on Consortuim Modular Operational Performance. 2016, 74 f. Dissertation (Master's Degree in Industrial Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Pursuing competitiveness, automakers has increased its product portfolio to expand sales, but it is challenged to produce more variety and greater production volumes. The management of new parts increases systems complexity. The objective of this study is to analyze the relationship between complexity and operational efficiency in high-volume production and high variety of products, typical in the production of commercial vehicles such as trucks and buses. The study is conducted in the Modular Consortium. The recent literature shows research opportunities for better understanding of complexity in order to pursue the client's needs by offering customized products and deal with mass customization without letting go operational performance.

KEY WORDS: *Complexity; Mass Customization; Product Variety; Operations Performance.*

SUMÁRIO:

1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 – Objetivos e Delimitações	17
1.2 – Contribuições	19
1.3 – Estrutura do Trabalho	20
2 – REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 – Perspectivas da customização em massa	21
2.2 – Influência da complexidade no desempenho operacional	23
3 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	35
3.1 – A Empresa Objeto de estudo.....	35
3.2 – Como foi feita a revisão teórica	36
3.3 – Caracterização do Método	37
3.4 – Aplicação do Método – Hipóteses	39
3.5 – Aplicação do Método – Estudo de Campo / Falseamento	41
4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
4.1 – Cálculos da Eficiência da Produção – posto a posto	53
4.2 – Cálculos da Eficiência Logística – posto a posto.....	55
4.3 – Avaliação dos Métodos Facilitadores.....	57
5 – IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	64
6 – CONCLUSÃO E PROPOSTA DE ESTUDOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS	70
ANEXO A	74

LISTA DE FIGURAS:

Figura 01: Matriz Produto e Processo.....	15
Figura 02: Estratégias genéricas	15
Figura 03: Correlação entre disponibilidade de opcionais e volume de vendas	22
Figura 04: Extensão da customização.....	24
Figura 05: Influência da Customização em Mass.....	26
Figura 06: Linha de montagem flexível	27
Figura 07: Complexidade x Lucro	33
Figura 08: Distribuição das palavras (a): “customization” (b)”complexity”	37
Figura 09: Etapas adotadas para a realização da pesquisa.	38
Figura 10: Célula de pré-montagem de painéis – área delineada para estudo	41
Figura 11: Peças plásticas de revestimento do painel.....	43
Figura 12: montagem do chicote elétrico principal	43
Figura 13: montagem dos relés na caixa de fusíveis	44
Figura 14: Equação para cálculo da Entropia Informação	46
Figura 15: Comparativo entre Entropia e Eficiência	Error! Bookmark not defined.
Figura 16: Etapas do método aplicado.....	49

LISTA DE TABELAS:

Tabela 01: Extensão da Customização em Massa na MAN LA	36
Tabela 02: Resumo das operações dos postos de pré-montagem de painéis	42
Tabela 03: Dados avaliados durante a pesquisa	45
Tabela 04: Indicadores de Produção do Consórcio Modular.	46
Tabela 05: Indicadores de Logística do Consórcio Modular	47
Tabela 06: Entropia de cada posto de pré-montagem de painéis	51
Tabela 07: Complexidade por posto	52
Tabela 08: Tempos de parada.....	53
Tabela 09: Montagens não conformes	54
Tabela 10: Comparativo entre complexidade e eficiência de Produção	54
Tabela 11: Eficiência de Logística	55
Tabela 12: Comparativo entre complexidade e eficiência Logística.....	57
Tabela 13: Métodos Facilitadores aplicados na pré-montagem de painéis.....	58
Tabela 14: Comparativo entre eficiência de Produção e Métodos Facilitadores	60
Tabela 15: Comparativo entre eficiência Logística e Métodos Facilitadores	61
Tabela 16: Comparativo entre complexidade e frequência de montagem	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

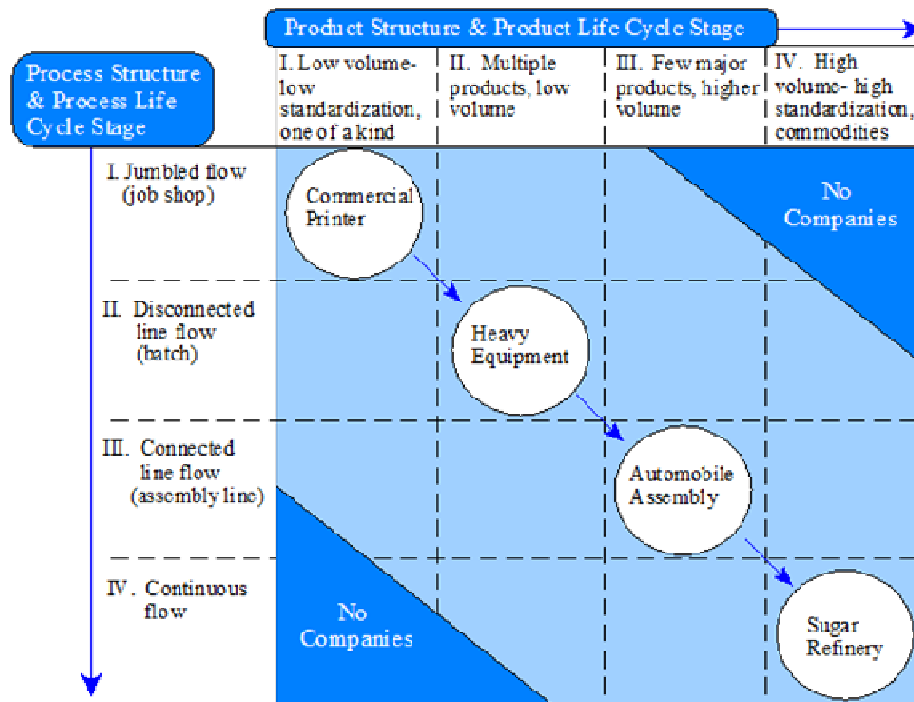
Cripple	Falta de peças
Frozen Period	Período de pedidos congelado (alterações não permitidas)
KPI	Indicadores de desempenho
Lead Time	Período de pedidos congelado (alterações não permitidas)
Lean	Pensamento Enxuto
MIX	Distribuição modelos na fila de produção
TAKT	Tempo de produção de uma unidade (velocidade da linha)
Time-to-market	Tempo de desenvolvimento para atender a demanda de mercado
Trade Off	Troca. Otimizar algo em detrimento de outro
TRIM	Montagem do interior de veículos

1 – INTRODUÇÃO

As montadoras que optam por produzir diferentes tipos de veículos em uma mesma linha de produção lidam com dificuldades de equilibrar flexibilidade e eficiência de operações. Este cenário se manifesta em problemas de distribuição de mão-de-obra (Zhu et al., 2008; Silva; Tubino e Seibel, 2015), administração logística e nível de incerteza (Wilding, 1998), decisões relativas a equipamentos, montador, treinamento (Elmaraghy et al., 2013), definições de arquitetura do produto (Kotabi, Parente e Murray, 2007).

Segundo Hu et al. (2011) existem relações causa-efeito entre variedade, flexibilidade e complexidade. A variedade nos produtos impacta na flexibilidade da produção que, por sua vez, resulta em complexidade na operação. Isto não é previsto originalmente nas configurações de linha de montagem tradicionais (Figura 01), que são indicadas na literatura para alto volume e pequena variedade ou moderada.

Figura 01: Matriz Produto e Processo (Hayes e Wheelwright, 1996)



A busca por competitividade tem feito as montadoras automotivas aumentarem a oferta de produtos e lidarem melhor com complexidade nos sistemas produtivos. A oferta de portfólios com maior variedade de produtos geralmente exige o gerenciamento de maior quantidade de componentes em processo, o que reduz a eficiência operacional da fábrica e impõe complexidade à gestão de sistemas produtivos (MacDuffie, 2006). Sistemas Produtivos de veículos comerciais, como caminhões, que são produzidos sob encomenda, alta variedade de alternativas e alto volume de produção necessitam atenção e novos métodos para mitigar ineficiências. As montadoras de caminhões e ônibus vêm utilizando a **customização em massa** ao produzirem numa mesma linha de montagem uma maior variedade de produtos personalizados com desempenho de produção em massa (Smith et al., 2013). Existem diferentes perspectivas sobre a relação da aplicação deste conceito nas vendas:

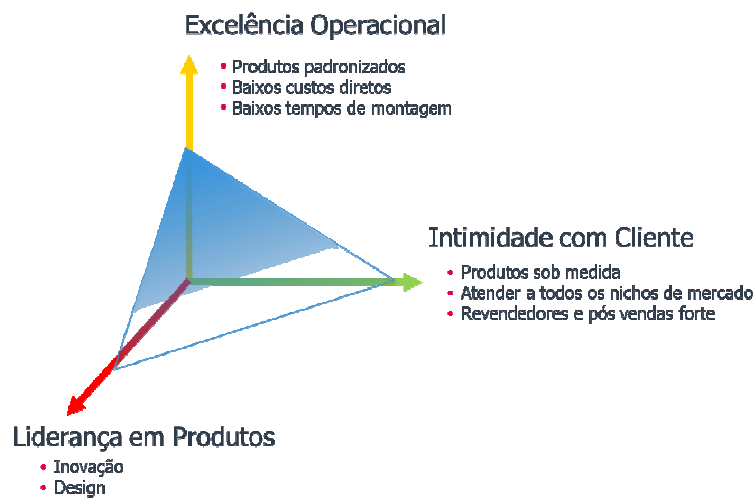
- Estímulo às vendas proveniente de oferta de maior variedade de produtos para atender necessidades específicas de clientes (Xia e Rajagopalan, 2009).
- Postergação ou desistência da compra pelo excesso de opcionais e variedade de produtos (Thompson et al., 2005).
- Baixa correlação entre vendas de automóveis e variedade de produtos ofertados (Pil e Holweg, 2004).

Muitas empresas adotaram a customização em massa nas últimas décadas. Em 2006 havia 165 modelos diferentes de veículos nos Estados Unidos, o que corresponde a 375% mais modelos que havia em 1969 (HU et. al, 2008). A empresa BMW afirma que apenas uma das suas famílias de produtos tem 10^{17} combinações diferentes, de acordo com ZHU et al. (2008). A famosa frase de Henry Ford “qualquer cor, desde que seja preta”, clássica dos tempos da produção em massa, atualmente não tem mais sentido para as empresas automobilísticas.

A Figura 02 ilustra as estratégias genéricas propostas por Michael Porter (1980), sugerindo que as empresas decidam por uma das estratégias para perpetuar-se na liderança de mercado. Segundo a proposta de Porter, as empresas devem alinhar seus elementos organizacionais para uma e apenas uma única estratégia. As empresas que decidirem por seguir a estratégia de excelência operacional, com foco em baixos custos finais, devem optar pelo modelo de produção em massa, onde a alta padronização e consequentemente a baixa

variedade são estratégias adotadas. Já a empresa que optar por especialização em produtos, tem os processos voltados para a criatividade e inovação, preocupadas em estar à frente dos desejos de seus clientes. Já a estratégia de intimidade com cliente sugere produção sob medida às necessidades dos clientes. Neste modelo o portfólio é extenso e a complexidade evidente nas operações industriais. Caso contrário, segundo o autor, na tentativa de perseguir mais de uma estratégia as decisões internas das empresas passarão a ser confusas e os desdobramentos as deixarão “presas no meio” e então passarão a sofrer com o *trade offs* trazidos pela dupla estratégia.

Figura 02: Estratégias genéricas (adaptada de Porter, 1980)



No mercado de veículos comerciais, a estratégia de intimidade com cliente se mostra adequada, visto a diversidade de operações que é possível realizar com os veículos. Caminhões são utilizados principalmente no transporte de cargas, mas também apoiam na colheita agrícola, em atividades de coleta de lixo, betoneiras, guindastes. Os ônibus têm diversas aplicações, seja no transporte urbano e trajetos rodoviários. Dentro de cada aplicação, os produtos precisam atender as expectativas dos clientes que tendem a decidir por comprar os produtos mais adaptados a cada operação. Com isso, para se tornarem competitivas, as montadoras são pressionadas a ampliar o portfólio de produtos para atender todos os segmentos e ao mesmo tempo manter os preços controlados. Porém, a customização em

massa é uma proposta de junção das duas estratégias: intimidade com cliente e excelência operacional, não recomendada por Porter, justamente pela incompatibilidade entre complexidade e eficiência.

Dentro das empresas, se as áreas comerciais veem o incremento de modelos e opcionais oferecidos como uma solução para atender novos nichos de mercado, as áreas operacionais sofrem com o aumento de **complexidade**, experimentando efeitos negativos no **desempenho operacional**. Os estudos pioneiros de Duffie et al. (1996) e Fisher e Ittner (1999) indicam que quanto maior a variedade de produtos, mais difícil é para as montadoras entregarem produtos com qualidade, no prazo desejado e manterem baixos custos.

As áreas operacionais têm um grande papel na estratégia de customização em massa. A produção e logística, por exemplo, precisam oferecer flexibilidade na administração das diferenças de configurações entre os produtos e permanecerem eficientes. A eficiência operacional e sua relação com complexidade pode ser resumida em: entrega no tempo desejado, alta qualidade dos produtos acabados e baixos custos operacionais, é fundamental para a competitividade da empresa. Porém a complexidade, induzida pelo aumento na variedade, prejudica o desempenho das áreas operacionais deteriorando os custos de produção. Falhas ocasionadas por imprecisões geradas por incertezas na demanda logística e aumento do custo unitário das peças devido à perda de economia de escala, são exemplos de impactos negativos no desempenho fabril.

A variedade de produtos pode oferecer uma vantagem competitiva se gerenciada de maneira eficiente. Criar transparência e agilidade nos processos de decisão é fundamental para as empresas que decidem por aumentar a quantidade de opcionais disponíveis. Porém, sem o devido cuidado, a complexidade pode até gerar uma desvantagem, deteriorando as margens, comprometendo a qualidade e os prazos de entrega (GÖTZFRIED, 2013).

A busca do ponto ótimo, onde o nível de variedade permite que a empresa obtenha lucro máximo, ainda é um desafio para o mundo corporativo e para os pesquisadores que, mesmo tendo produzido várias obras sobre o tema, não conseguem definir com precisão as inter-relações entre complexidade e excelência operacional. Os esforços para mapear e criar entendimento, as ações para reduzir e os métodos para gerenciar os efeitos da complexidade

nas operações fabris podem criar diferencial entre as marcas de montadoras de veículos em um mercado que está cada vez mais competitivo e sensível a custos.

As empresas buscam por respostas para se tornarem mais enxutas e ao mesmo tempo oferecerem uma alta gama de opcionais para seus clientes. A literatura analisada sobre a relação entre complexidade e eficiência operacional não propõe uma orientação consensual para lidar com o assunto, pois os sistemas produtivos e os métodos atuais são específicos para serem suficientemente generalizados. Identificou-se nesta literatura as seguintes oportunidades de pesquisa:

- Definir estratégias multidisciplinares de produção para linhas de montagem (Silva, Tubinho e Seibel, 2015).
- Desenvolver sistemas de montagem mais eficientes a respostas de *time-to-market*, nível de entrega e qualidade (Rekiek et al., 2002).

Estudos para conter a complexidade, sem perder a alta variedade na oferta, devem ser considerados. O cuidado no desenvolvimento de produtos, para que os opcionais criados representem as demandas existentes, encontrando assim potenciais clientes deve ser priorizado pelas empresas e por todos que estudam o tema. Estudos de Manufatura podem aprofundar as contramedidas para mitigar os impactos gerados pela complexidade, desenvolvendo novos métodos para programar a necessidade de material e auxiliar os montadores durante o processo produtivo.

1.1 – Objetivos e Delimitações

Este estudo tem por objetivo analisar a influência da complexidade na eficiência das áreas operacionais. Identificar os principais elementos da complexidade que influenciam as atividades fabris e propor maneiras de gerenciar e reduzir os impactos.

Os resultados esperados com o desenvolvimento da pesquisa alinham oportunidades de pesquisa identificadas na literatura recente sobre este tipo de sistema produtivo, tais como

identificar fatores que influenciem flexibilidade e desempenho operacional industrial para orientar iniciativas competitivas (Hallgren e Olhager, 2009).

A complexidade faz influência em todas as áreas da empresa, desde Vendas e Marketing e Assistência técnica até Qualidade e Finanças. A necessidade de qualificação contínua dos colaboradores e a dependência de sistemas informatizados para administrar grande quantidade de opcionais são exemplos dos impactos da alta variedade de produtos.

Porém, neste estudo, o foco principal será a eficiência das áreas operacionais, relacionando as causas da complexidade e seus fatores identificados aos efeitos que eles geram na Produção e Logística da empresa.

O estudo é delimitado à produção de painéis de caminhões no Consórcio Modular. Este sistema produtivo opera com oito parceiros para a montagem de conjuntos completos de peças: Maxion (que cuida da montagem do chassi), Arvin Meritor (eixos e suspensão), Remon (rodas e pneus), Powertrain (motores), AKC (armação da cabine), Carese (pintura) e a Continental (acabamento da cabine). O controle de qualidade do produto é de total responsabilidade da VW MAN Latin America. Por sua vez, o Consórcio Modular busca redução nos custos de produção, investimento, estoques, tempo de produção e, principalmente, flexibilidade na produção de veículos diferenciados. Trata-se de um modelo ímpar de produção de alto volume e alta variedade oportuno para a pesquisa realizada. Os resultados de pesquisa obtidos nesse ambiente único podem servir para inferir orientações para outros ambientes produtivos.

A literatura analisada indica que o tema complexidade em sistemas produtivos tem aspectos que influenciam o desempenho operacional. Este estudo lida com a Entropia da informação (Frizelle e Suhov, 2008) e relaciona a proliferação de produtos com o aumento de informações nos sistemas. São exemplos: número de peças; desenhos técnicos; pedidos de compras; instruções de montagens. Nas estações de trabalho que contêm operações manuais, os erros de montagem e atrasos na entrega aos clientes são potencializados pelas combinações de montagem.

1.2 – Contribuições

Com o mercado de veículos comerciais cada vez mais sensível a preços, estudos para entender a correlação entre complexidade e eficiência vêm ganhando importância no mundo corporativo. A crescente busca por competitividade fez com que as indústrias se atentassem para as perdas de eficiência operacional e suas possíveis causas.

Uma melhor compreensão sobre a relação entre complexidade e eficiência operacional influencia a busca de competitividade em sistemas produtivos de alto volume e alta variedade. Também têm implicações práticas neste momento de forte preocupação de infraestrutura nacional que implica na utilização de veículos comerciais: analisar a complexidade na produção de veículos comerciais como caminhões ganha particular importância.

Como contribuição para a empresa pesquisada, que financiou o projeto de pesquisa do mestrado profissional, este estudo discute os principais fatores que explicam a influência da complexidade nos resultados da Produção e Logística. Comparar os fatores aos indicadores de desempenho operacional, criando uma relação de causa e efeito. Visa também propor ações para evitar, reduzir e gerenciar a complexidade e criar diferencial competitivo.

Efthymiou et al. (2012) observam diferentes métodos para medir a complexidade e orientar decisões de produção. No entanto, a melhor adequação destes métodos à realidade de sistemas produtivos de alto volume e alta variedade é uma fronteira de pesquisa a ser explorada.

Os resultados da pesquisa fornecerão elementos capazes de auxiliar na formulação de políticas para melhor competitividade da indústria, popularização de novos conceitos e melhor entendimento de como lidar com complexidade e flexibilidade para aumentar eficiência operacional e mitigar seus efeitos negativos. Além disso, podem contribuir na melhor gestão logística, orientação de desenvolvimento de produto e aplicação de particularidades do pensamento enxuto para obter melhor desempenho de sistemas de produção com alto volume e alta variedade de produtos. Espera-se fomentar nos gerentes de produção reflexões sobre complexidade, flexibilidade e variedade. Assim, busca-se a mitigação de diversos problemas em sistemas produtivos, como o estudado.

1.3 – Estrutura do Trabalho

Na seção 2 deste trabalho será abordado o referencial teórico envolvendo os conceitos de complexidade, as vantagens e desvantagens em praticar a customização em massa, eficiência das áreas fabris, bem como uma breve discussão de suas influências na gestão operacional. Na seção 3 será apresentado o método empregado para a condução da pesquisa e suas etapas. Na seção 4 serão discutidos os resultados obtidos e os principais fatores identificados. A seção 5 traz recomendações práticas para as empresas. Por último, a seção 6 irá abordar as considerações finais e as indicações para estudos futuros.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo é dedicado à contextualização científica do tema, abordando diferentes perspectivas para a utilização da estratégia de customização em massa e também conceituando complexidade e eficiência operacional. Por fim o capítulo apresenta as influências da complexidade na eficiência operacional das áreas de Produção e Logística já estudadas por outros pesquisadores.

2.1 - Perspectivas da customização em massa

Em estudos de administração de marketing, não há literatura conclusiva relacionada a esse tema. Muitos pesquisadores debatem sobre os prós e contras da estratégia de customização em massa. Muitos argumentam a favor, dizendo ser vantajosa a diversidade por estimular as vendas, atendendo às necessidades de clientes específicos (BAYUS and PUTSIS, 1999; XIA and RAJAGOPALAN, 2009).

Apoiando a customização em massa, Lancaster (1990) e Quelch & Kenny (1994) identificaram os benefícios como ganho de vantagem competitiva, visto que ao oferecer produtos customizados às empresas que praticam essa estratégia reduziriam as pressões competitivas, comparações diretas com os concorrentes e evitariam também a guerra por preços. Já Kahn & Morales (2001) postulam que um extenso portfólio permite melhor preenchimento das preferências, criando retenção dos clientes e um maior volume de vendas. Segundo Ulrich (2006), as empresas que praticam a customização em massa conseguem aumentos nos retornos financeiros. Os clientes estariam mais propensos a desembolsar quantias maiores para produtos que se encaixassem perfeitamente em suas necessidades. Além das vantagens comerciais e financeiras citadas, Fisher et al. (1995) traz também um benefício para áreas operacionais. Segundo o autor, heterogeneidade nos produtos oferecidos preserva a utilização da capacidade produtiva das plantas. Se um determinado produto tiver uma queda na demanda, a planta conseguiria continuar produzindo normalmente, substituindo-o por outro modelo, absorvendo assim os impactos negativos das flutuações do mercado, o que seria mais difícil em uma planta com pequena variedade de produtos.

Outros estudos postulam o contrário, sugerindo a alta variedade como causa de problemas na hora da escolha. Muitos clientes ficam confusos devido ao excesso de opcionais ofertados e acabam por desistir ou postergar o momento da compra (THOMPSON et al., 2005). Por exemplo, a empresa Procter & Gamble Co. aumentou em 10% o volume de vendas quando reduziu o número de opcionais dos seus shampoos “Head and Sholders” de 26 para 15. De acordo com Pill e Holweg (2004), os volumes de vendas parece não ter correlação com a variedade de produtos ofertados. Avaliando as duas partes destacadas na Figura 03 pode-se perceber a falta de correlação proposta pelos autores. Segundo a pesquisa apresentada por eles, o modelo Peugeot 206 fez, em 2012, o dobro de vendas do seu concorrente Ford Fiesta, mesmo este possuindo seiscentos e oitenta vezes mais variantes em relação ao Peugeot.

Figura 03: Correlação entre disponibilidade de opcionais e volume de vendas.

Model	Bodies	Power trains	Paint-and-trim combinations	Factory-fitted options	Total number of variations	European sales in 2002 [units]
Peugeot 206	3	8	70	5	1,739	596,531
VW Golf	3	16	221	26	1,999,813,504	595,465
Ford Focus	4	11	64	19	366,901,933	523,356
Renault Clio	2	10	57	9	81,588	502,497
Peugeot 307	4	8	70	9	41,590	441,468
GM Astra	4	11	83	14	27,088,176	440,567
GM Corsa	2	9	77	17	36,690,436	420,296
Fiat Punto	2	5	51	8	39,364	416,843
VW Polo	2	9	195	27	52,612,300,800	357,539
BMW 3-Series	3	18	280	45	64,081,043,660,000,000	350,723
Ford Fiesta	2	5	57	13	1,190,784	294,360
Renault Megane	2	6	52	14	3,451,968	261,383
Mercedes C-Class	2	16	312	59	1,131,454,740,000,000,000,000	254,836
Toyota Yaris	2	6	30	8	34,320	194,256
Fiat Stilo	3	7	93	25	10,854,698,500	173,453
Mercedes E-Class	2	15	285	70	3,347,807,348,000,000,000,000,000	157,584
Toyota Corolla	4	5	24	6	162,752	139,837
Nissan Micra	2	6	30	4	676	106,428
Mini (BMW)	1	5	418	44	50,977,207,350,000,000	105,617
Nissan Almera	3	5	30	5	3,036	87,474

Fonte: adaptado de Pill e Holweg, 2004

Segundo Shamsuzzoha e Helo (2010) e Blackenfelt (2001), as empresas estão revendo e selecionando estratégias apropriadas para maior velocidade no desenvolvimento ou adaptação dos seus produtos. Ao optar pela customização em massa a empresa necessita encontrar um equilíbrio entre as necessidades de clientes, que devem ser satisfeitas, e o bom desempenho

operacional, articulados na empresa por áreas como Comercial, Desenvolvimento de Produto, Operações.

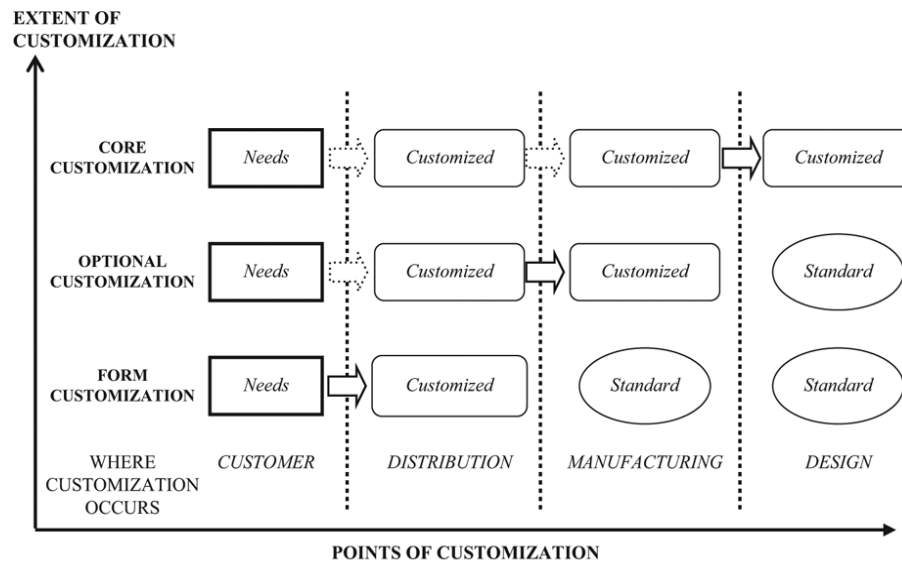
Apesar das divergências conceituais em torno dos benefícios e prejuízos de se adotar essa estratégia, muitas empresas seguiram esse caminho nas últimas décadas. As montadoras de caminhões, têm dado atenção à customização em massa (Hu et al., 2008; Fujita, 2002), que busca produzir numa mesma linha de montagem uma maior variedade de produtos personalizados com desempenho de produção em massa (SMITH et al., 2013). A opção por variar os produtos oferecidos traz consigo os benefícios da ampliação do campo de atuação, retorno financeiro e as demais vantagens já mencionadas, porém o incremento no número de modelos, variações e opcionais, também trazem o aumento da complexidade para as operações fabris, como Produção e Logística. Com isso as empresas devem estar atentas aos impactos causados pela complexidade no desempenho operacional, para que não percam competitividade em custos, prazos de entrega e qualidade.

2.2 - Influência da complexidade no desempenho operacional

É possível conceituar complexidade na indústria automotiva considerando complexos os sistemas que têm resultados imprevisíveis, cheios de incertezas, compostos de muitas partes com relações de difícil caracterização (EFTHYMIOU et al., 2012). São assim os processos produtivos das empresas que decidem pela customização em massa e que aumentam seu portfólio de produtos constantemente. O fator determinante que torna os sistemas de manufatura das montadoras e suas cadeias de suprimentos complexos é a quantidade de peças e as possíveis combinações entre elas.

Os esforços para atender aos diferentes nichos de mercado resultam em aumento de complexidade. Segundo Alford et al. (2000), a customização em massa pode ser classificada em relação à sua extensão e aos pontos em que as empresas decidem realizar a diferenciação para atender os clientes. Na Figura 04 pode-se observar que o maior nível de customização, e logo mais complexo, é aquele que diferencia seus produtos no momento da concepção e desenvolvimento dos produtos, durante o processo de fabricação e também no momento da entrega para o cliente final.

Figura 04: Extensão da customização



Source: Alford *et al.* (2000)

Existem diversas maneiras para classificar e mensurar a complexidade. Para Efthymiou *et al.* (2012) a complexidade pode ser mensurada de cinco diferentes maneiras, dependendo da natureza da operação. As teorias apresentadas fundamentam a lógica para medir, classificar e avaliar as dimensões da complexidade. A primeira teoria apresentada é a “teoria do caos e dinâmica não linear”, onde se observa a não linearidade, incertezas e as instabilidades como as principais razões para um sistema se tornar complexo. Nesse método observa-se a consistência das entradas do processo e comparação às saídas, comparando o comportamento do sistema ao longo do tempo. O grau de imprevisibilidade e de não linearidade do comportamento revelam a complexidade intrínseca no processo.

A segunda maneira apresentada para mensurar a complexidade é a “teoria da informação”. Nesse método, a quantidade de informação inserida no processo é calculada e chamada de *entropia* da informação, onde o nível de incertezas e imprevisibilidade aumenta conforme atingem o nível de capacidade do ser humano em lidar com a informação. Diferentemente dos computadores e máquinas, o cognitivo humano é limitado, portanto, esse método traduz bem como o número de escolhas a serem realizadas, dentre todas as

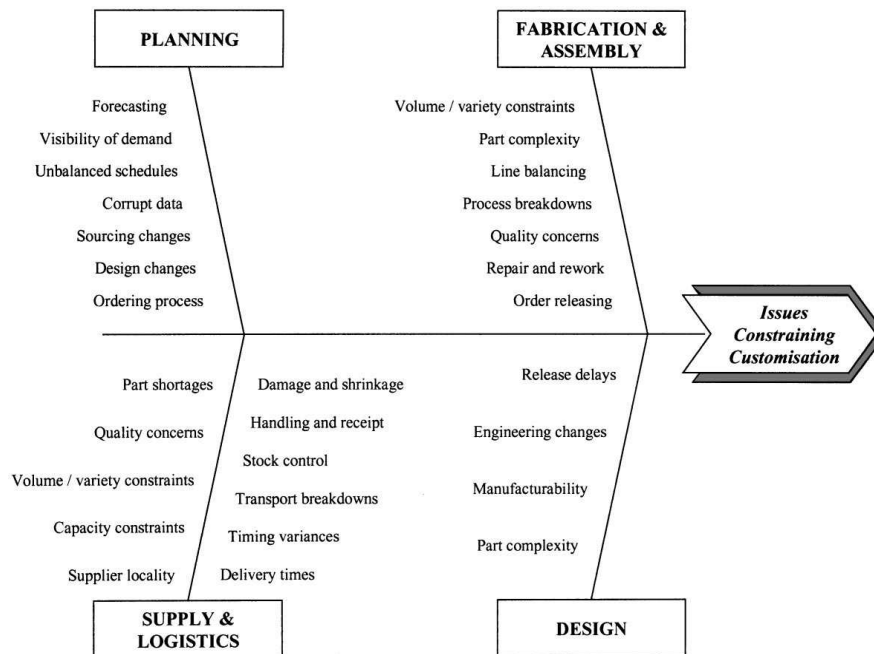
possibilidades disponíveis, resultam no nível de complexidade apresentada por um determinado tipo de processo.

Os demais métodos: axiomático, Híbrido e o outro que utiliza os princípios da dinâmica dos fluídos, calculando número de Reynolds para descrever o nível de complexidade, são mencionados pelos autores, porém não serão aprofundados nesse texto.

Grande parte da comunidade científica reconhece que os custos operacionais aumentam à medida que os sistemas vão se tornando mais complexos. Para George & Wilson (2004) a complexidade é “o silencioso vilão dos lucros e do crescimento”. Estudos pioneiros de Duffie (1996), através de análise estatística contemplando 70 plantas ao redor do mundo, apresentaram como as variações no portfólio de produtos impactam negativamente a dinâmica das operações, prejudicando a produtividade e qualidade dos produtos.

Para Alford et al. (2000) a estratégia de customização em massa traz impactos em diversas áreas da empresa. Nas fases de desenvolvimento, os engenheiros têm dificuldades em cumprir os prazos, tendo que alterar o projeto e refazer a conceituação. As áreas comerciais apresentam mudanças rotineiras de fontes de fornecimento e determinação da cadeia logística. Os autores trazem também um esquema ilustrado na Figura 05 dos principais impactos às áreas operacionais. Para a Produção, citam as dificuldades em balancear as linhas de montagem, retrabalhos e paradas de produção. Já para as áreas de planejamento da Produção, Logística e Cadeia de fornecimento, os autores indicam as previsões de demanda, instabilidade nos processos de colocação de pedidos e alto nível de estoque como os principais fatores que devem ser observados para que as operações ocorram de maneira satisfatória.

Figura 05: Influência da Customização em Massa. Alford (2000)



Fonte: Alford (2000)

O desempenho operacional, medido por meio das entregas que as fábricas são capazes de realizar, é fundamental para o resultado geral das empresas. Para Hallgren (2007), custos, fidelidade na entrega e qualidade são métricas importantes e comumente utilizadas para medir o desempenho das operações das montadoras.

Os custos operacionais são resumidos pelos custos com mão-de-obra, infraestrutura, insumos, inventários, serviços, manuseio e transportes de componentes. As ineficiências operacionais contribuem com aumento de custos. Horas extras, retrabalhos e obsolescência de peças são exemplos de desperdícios nas operações fabris (GEORGE & WILSON, 2004).

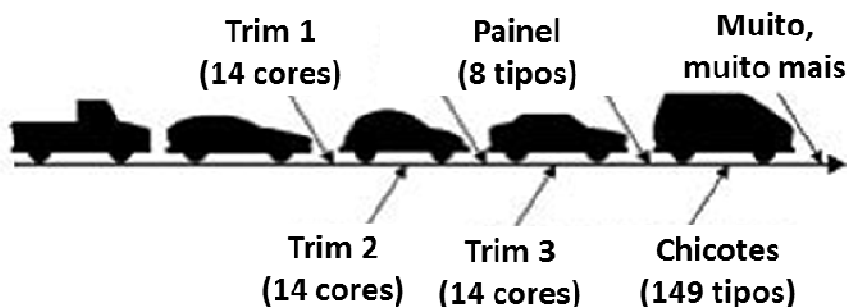
A qualidade de produtos acabados é grande foco das montadoras por ser fator determinante na conquista e fidelização de clientes. Falhas nos produtos podem comprometer a confiança e a imagem da Marca. Além disso, qualquer tipo de problema atrelado a “não qualidade” infere em custos adicionais para as empresas.

Já a fidelidade na entrega remete ao compromisso firmado no momento da venda com o prazo de disponibilização dos produtos para uso dos clientes. Atrasos geram transtornos e por vezes inferem em multas para as montadoras.

As montadoras que optam por produzir os diferentes tipos de veículos em uma só linha de produção podem ser consideradas flexíveis, contudo essa flexibilidade traz dificuldades para garantir a eficiência das operações. A variedade de componentes e suas possíveis combinações geram complexidade ao sistema produtivo.

Para produzir diferentes veículos em uma mesma linha de produção, como ilustrado na Figura 06, as montadoras precisam avaliar os tempos de montagem necessários para cada modelo. Para garantir o takt time constante, as montadoras precisam balancear o mix de produção para absorver as discrepâncias encontradas entre os modelos de grande conteúdo e os de baixo conteúdo. Portanto, existe uma sequência ótima de produção em que a média do tempo de montagem entre os modelos permanece constante. Para as linhas de montagem flexíveis, preparadas para a produção de diferentes modelos, a distribuição de mão de obra é um problema clássico e apresentado por Zhu et al. (2008). A necessidade de mão de obra para a execução das atividades é maior nas linhas de produção flexíveis se comparadas às linhas de produção que tem produtos com tempo de montagem similar (produção em massa).

Figura 06: Linha de montagem flexível (texto traduzido)



Para garantir a produção estável e a ótima ocupação dos recursos, a busca pelo mix ideal de veículos é fundamental para o sistema produtivo. Porém, essa necessidade causa restrições ao sequenciamento de veículos, que deve respeitar a sequência e ordem de produção. Se houver restrições de disponibilidade de peças para o sequenciamento e montagem de alguma família de veículos, o mix pode ficar comprometido. Estes casos submetem a gerência à

tomada de decisão, tendo que optar pela parada de produção ou pelo mix “pesado”, em ambos os casos há comprometimento da qualidade ou entrega dos produtos.

Outro efeito da complexidade de produtos na indústria automotiva é o alto conteúdo de informações necessárias para a realização correta das montagens manuais. Segundo Elmaraghy et al. (2005) o número de decisões a serem tomadas, como por exemplo equipamentos, intensidade do aperto, sentido de montagem, e peça a ser montada ficam a cargo da habilidade do montador, que mesmo tendo as instruções e treinamentos necessários, precisa contar com a memória de montagem e sua capacidade cognitiva. A qualidade da montagem está diretamente ligada, entre outros fatores, à frequência de produção de um determinado produto ou opcional, o que faz com que a memória de montagem seja acessada sem dificuldades. O mesmo não ocorre quando o produto ou opcional é de rara produção. Wiendahl e Scholtissek (1994) estimam que cerca de 50% das peças e opcionais disponíveis em uma montadora automotiva são utilizados apenas em 5% do volume de produção. Esse fato faz com que o índice de quebra de qualidade de montagem nestes opcionais seja maior que os de frequência alta. Se a montagem dos opcionais de baixa frequência de produção trazem complexidade excessiva para a linha de montagem, não seria diferente com as áreas de reparos e inspeção.

Nas fases de desenvolvimento dos novos modelos, todos os opcionais deveriam ser testados e validados, porém os recursos despendidos com a montagem de protótipos seria muito elevado, e poderia ainda comprometer o prazo de entrega dos projetos. Na prática, muitos opcionais são testados durante o início da produção em série dos novos modelos. A lista de materiais com o novo conteúdo, assim como as montagens, somente serão validados tardiamente com os veículos já em produção (ALFORD et al., 2000).

A diferença entre o conteúdo dos produtos e seus tempos de montagem, o comprometimento do cognitivo humano nas montagens manuais, em função da variedade de opcionais, e as imprecisões das informações disponíveis para a produção dos modelos causam grandes impactos no desempenho operacional das montadoras.

Os equipamentos utilizados para a produção dos veículos se multiplicam a cada vez que em uma introdução de novos modelos ou opcionais os engenheiros não conseguem absorver

as novas montagens com os recursos existentes. Os custos com aquisição e manutenção dos novos equipamentos impactam diretamente a eficiência das montadoras.

As restrições de produção e paradas de linha causadas pela complexidade excessiva, podem gerar trabalho em regime de horas extras para recuperar as perdas e não comprometer o prazo final de entrega dos veículos. Já as falhas na montagem precisam ser reparadas antes da entrega final. Esses reparos em geral ocorrem em momento posterior a produção dos veículos, quando uma equipe extra é necessária para a realização desta atividade. Além disso, na execução dos reparos podem ocorrer a necessidade de substituição de componentes e o sucateamento das peças substituídas.

As ineficiências apresentadas pela produção em virtude da complexidade impactam diretamente os custos de produção (GEORGE & WILSON, 2004). Como a opção por atender os requisitos de qualidade e não infringir em atrasos nas entregas, as montadoras investem recursos adicionais para garantir entrega dos produtos nos prazos estabelecidos com os clientes.

A fim de atender às novas demandas de mercado, novos veículos são desenvolvidos pelas montadoras que, gradativamente, são adicionados ao seu portfólio de produtos. Estes novos veículos, em geral, são acompanhados de novas peças, específicas para os modelos em questão, que serão administradas em toda a cadeia de suprimentos juntamente com as peças dos veículos já correntes.

O mercado automotivo de veículos comerciais é caracterizado pela oferta de uma grande variedade de produtos e opcionais para adequar o uso do bem às operações de seus clientes. Neste contexto, o líder de vendas no segmento será também aquele que disponibilizar ao mercado produtos inovadores com um baixo tempo de desenvolvimento, desconsiderando os fatores: preço, produtividade e pós-vendas dos veículos.

Assim como para a produção, a complexidade gerada pelo alto número de componentes disponíveis para a montagem dos veículos também afeta diretamente o desempenho da logística industrial (FRIZELLE e SUHOV 2001). O elevado número de componentes invariavelmente leva a uma extensa cadeia logística, que por sua vez também é impactada pela própria complexidade em suas operações de produção e logística.

As atividades de logística são pressupostas a serem mais blindadas que as atividades de produção no quesito quantidade de informações a ser gerenciada, isso porque é comum as empresas utilizarem sistemas robustos para gerenciarem o fluxo de informações entre as necessidades da produção e a cadeia de suprimentos. Porém, sempre que há a necessidade de ajustes manuais, os limites do cognitivo prejudicam os processos logísticos, da mesma maneira que afetam os processos de montagem.

Outra dimensão da complexidade que afeta diretamente as atividades logísticas é o nível de incerteza a ser gerenciado (WILDING, 1998). Com o extenso portfólio de produtos, para elaborar uma boa programação de produção é pressuposto que as configurações e detalhes de conteúdo dos produtos sejam precisamente estabelecidos e que não se alterem com o passar dos dias em que toda cadeia de fornecedores esteja se preparando para atender as necessidades, chamado de período firme (frozen period). Porém, nem sempre é possível prever, com o nível de detalhes e a antecedência necessária, o conteúdo dos produtos que a montadora pretende produzir. Quanto maior for o prazo necessário pelo fornecedor para atender as necessidades da montadora, maior deve ser o grau de precisão e alcance da previsibilidade a ele fornecida.

A flexibilidade na programação de produção traz transtornos para as operações logísticas. A realização de alterações no período firme programado para a produção, acrescentando, reduzindo ou mudando os modelos ou opcionais previamente selecionados, podem prejudicar a prontidão da cadeia logística, bem como as mudanças abruptas no volume de produção, seja aumentando ou reduzindo a programação diária, causam impacto negativo na cadeia logística (STOOP e WIERS, 1996). Esse efeito pode ser observado também em empresas com baixa complexidade, porém são certamente mais acentuados quando se tem uma gama de opções extensa e complexa.

Segundo Frizelle and Suhov (2001), conforme a cadeia logística aumenta, não somente, mas também por causa da variedade de produtos, a dispersão da localização dos fornecedores fica acentuada e os custos com transportes tendem a crescer. Os autores identificam essa complexidade como “complexidade estrutural”. Outro acréscimo de custos observados é com a aquisição e manutenção de embalagens, que aumenta diretamente proporcional ao aumento no número de componentes.

Nem sempre a cadeia de fornecedores consegue reagir frente a uma mudança na programação a tempo de manter a produção abastecida. Em muitos casos é necessário um acompanhamento dedicado, por parte das montadoras, aos fornecedores mais críticos. Qualquer imprecisão no fluxo de informações entre a montadora e sua cadeia logística irá causar danos à produção. Em geral os problemas ocorrem devido a interferências manuais nos sistemas, falhas no conteúdo das listas técnicas que embasam as requisições de materiais ou imprecisão nas previsões de demanda. As falhas do sistema logístico normalmente se manifestam como falta de peças, que podem ser ora restrições de produção ora componentes faltantes, dependendo do grau de importância de cada componente, causando perdas de produção ou posteriores retrabalhos respectivamente. Perdas e retrabalhos são ineficiências que geram custos adicionais e prejudicam o desempenho operacional. Assim que identificadas, toda falha de abastecimento gera necessidade de transporte extra e em caráter emergencial, aumentando ainda mais os custos de produção (FISHER E ITTNER, 1999).

Quando há cortes ou alterações repentinas na programação de produção, nem sempre é possível o atendimento por parte dos fornecedores, nesses casos, como já havia programação firme, muitos componentes já produzidos e que não serão mais necessários após as mudanças são entregues, faturados e não terão uso. Em geral ocupam área nobre e embalagens até que sejam programados novamente. Em muitos casos viram obsoletos e precisam ser descartados. Outra fonte de obsolescência é curto tempo no ciclo de vida dos produtos, característica das empresas que proliferam seu portfólio. Os processos de entrada e saída de novos componentes da operação geralmente deixam componentes em estoque sem uso e com isso a necessidade de sucateamento.

Em montadoras de alta complexidade é possível observar um desalinhamento entre a utilização das peças pela produção se comparadas aos seus registros sistêmicos nas listas técnicas. Fato que prejudica o inventário, gerando custos desnecessários e evitáveis às empresas.

É preciso enfatizar que os modos de falha apresentados neste texto não tem causa raiz apenas ligadas à complexidade, outros fatores são preponderantes para que ocorram, como a negligência e a indisciplina de colaboradores, falhas sistêmicas, entre outros.

De acordo com a literatura examinada, a complexidade pode ser desdobrada em três principais fatores que influenciam diretamente o desempenho operacional. São eles: entropia da informação; imprevisibilidade e incertezas na demanda; perda na economia de escala. Muitas obras trazem outros fatores, porém esses são os mais relevantes para o tipo de produto e montagem que serão avaliados nesta pesquisa.

Entropia da informação: a proliferação de produtos causa aumento nas informações disponíveis dentro dos sistemas. Quanto maior for a complexidade, maior será o número de peças e opcionais disponíveis, desenhos técnicos, pedidos de compras, instruções de montagens e outras informações para administrar. Nas estações de trabalho que contêm operações manuais, a crescente possibilidade de combinações para a montagem de um mesmo produto pode exceder o cognitivo humano, induzindo assim frequentes erros operacionais na montagem. Quando identificados, os problemas causados por estas estações são corrigidos, gerando custos com retrabalhos e possíveis atrasos na entrega dos produtos aos clientes. (FRIZELLE E SUHOV, 2008)

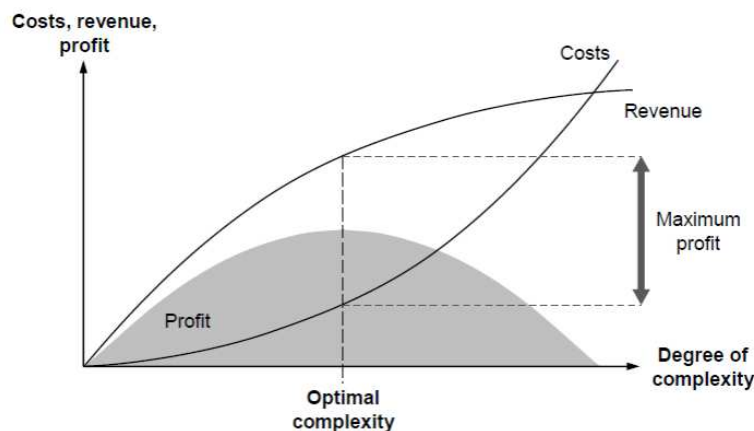
Imprevisibilidade e incertezas de demanda: sistema complexo não tem respostas lineares para as mesmas interações. Isso significa que para um mesmo dado de entrada, pode haver diferentes comportamentos e diferentes resultados na saída, pois os comportamentos das partes do sistema não interagem sempre da mesma maneira. Quanto maior for o número de componentes, maior a dificuldade em prever comportamentos, portanto, maior a complexidade do sistema. As incertezas geram problemas na demanda e no uso de componentes, problema que impacta diretamente a disponibilidade bem como a obsolescência dos materiais. Planejamentos de médio e longo prazo ficam prejudicados e os custos com inventários intermediários ao longo da cadeia de suprimentos podem ser observados. (WILDING, 1998; KELLERT, 1993).

Perda da economia de escala: a produção em massa traz grandes volumes e os benefícios dos custos das peças. À medida que a diferenciação das peças vai aumentando, para atender aos requisitos de clientes específicos, menor o volume observado em suas produções. Quando a variedade é baixa e o volume focado em poucos componentes, cada peça contribui para a diluição dos custos fixos e consequentemente apresentam custos menores. Na direção contrária, na medida em que a variedade cresce, a contribuição individual cai, tornando as peças com baixo volume de produção, mais caras. A complexidade

causa perda da economia de escala, degenerando as margens praticadas pelas empresas, devido aos custos dos componentes específicos. (CHASE, JACOBS E AQUILANO, 2006). Os veículos sem economia de escala são subsidiados pelos que têm escala. Segundo Schuh (2007) os veículos mais vendidos são vendidos a preços mais caros que deveriam, para compensar o baixo volume dos veículos exclusivos.

Para diversos autores a complexidade é uma grandeza relativa. Na Figura 07, apresentada na tese de Doutorado de Götzfried, M. (2013), à medida que a variedade de produtos cresce, a rentabilidade também cresce. Até que o ponto de equilíbrio seja atingido, o que sugere o conceito de complexidade boa e complexidade ruim. Complexidade boa é aquela que o portfólio atinge o mercado e gera receita com vendas. Já a complexidade ruim é aquela em que as variações de produto não encontram no mercado a demanda correspondente, excedendo o nível ótimo, causando perda da rentabilidade das empresas (SIVADASAN et al., 2002). O exemplo da Procter & Gamble citado na página 22 ratifica o conceito proposto pelo gráfico.

Figura 07: Complexidade x Lucro



Fonte: Götzfried , 2013

A literatura ainda não nos propõe uma receita genérica para lidar com a complexidade, métodos desenvolvidos podem servir a algumas indústrias e simplesmente não se encaixarem a outras. Segundo Götzfried (2013) cada empresa precisa descobrir de que maneira esse fenômeno influencia seus resultados e criar um conjunto de ações customizadas para mitigar seus impactos. Empresas multinacionais de grande porte ao estabelecerem sua estratégia

mundial utilizam plantas para produzir plataformas ao invés de mix entre várias famílias como forma de reduzir o impacto da complexidade em suas operações.

Esta pesquisa fará o teste de aderência da conceituação literária com um caso prático na Indústria automobilística brasileira.

Como evidenciado na literatura examinada na revisão teórica, a complexidade e seus impactos têm apresentado estudos recentes como o de Götzfried (2013) e Zhu et al. (2012). As pesquisas recentes se baseiam em uma literatura clássica, como os estudos pioneiros de Duffie et al. (1996) e Fisher e Ittner (1999).

3 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Esta seção apresenta Objeto de estudo, o método a ser utilizado nesta pesquisa, bem como o passo a passo para sua execução. A aplicação do método tem por objetivo analisar a influência da complexidade na eficiência das áreas operacionais de Produção e Logística, identificando os principais elementos da complexidade que influenciam as atividades fabris.

Os etapas de elaboração do método, bem como o detalhamento de cada uma das fases serão explorados em sub-tópicos deste capítulo.

3.1 – A Empresa Objeto de estudo

O Brasil tem exemplo de modelos originais de sistema produtivos como o Consórcio Modular. Considera-se que o surgimento do primeiro Consórcio Modular, deu-se na indústria automobilística brasileira na fábrica de caminhões da Volkswagen (VW) em Resende, no Rio de Janeiro (Arbix e Zilbovicius, 1997), atualmente denominada como VW MAN Latina America. Nesse Consórcio Modular, a VW MAN Latin America com oito parceiros para a montagem de conjuntos completos de peças: Maxion (que cuida da montagem do chassi), Arvin Meritor (eixos e suspensão), Remon (rodas e pneus), Powertrain (motores e trem de força), AKC (estampagem e armação da cabine), Carese (pintura) e a Continental (montagem do interior da cabine). O controle de qualidade do produto é de total responsabilidade da VW MAN Latin America. Por sua vez, o Consórcio Modular busca redução nos custos de produção, investimento, estoques, tempo de produção e, principalmente, flexibilidade na produção de veículos diferenciados. Trata-se de um modelo ímpar de produção de alto volume e alta variedade. Os resultados de pesquisa obtidos nesse ambiente único podem servir para inferir orientações para outros ambientes produtivos.

A MAN LA é uma empresa que persegue o atendimento sob medida para satisfazer as necessidades dos seus clientes e realiza a customização em todas as fases de suas operações, sejam elas técnicas ou comerciais. A Tabela 01 traz uma relação com os tipos de produtos praticados pela empresa MAN LA, em relação ao modelo proposto por Alford et al. (2000).

Tabela 01: Extensão da Customização em Massa na MAN LA

Tipos de Customização	Onde Ocorre	Modelo produção MAN LA	% volume
Básica	Concessionário	Normal	40
Opcional	Concessionário + Manufatura	Tailor Made	40
Principal	Concessionário + Manufatura + Desenvolvimento	SVE	20

Fonte: Adaptado Alford,2000

A escolha da empresa se deu por conta dos diferentes perfis de customização, o que permite a análise da relação entre complexidade e eficiência operacional. A MAN LA adota a diversificação em seus produtos pela larga gama de opcionais oferecidos ao mercado. Um cálculo realizado por essa pesquisa mostra que em apenas uma família de modelos de caminhões a empresa pode produzir $2,5 \times 10^{23}$ possibilidades teóricas. Outro fator preponderante para a escolha da empresa é o Takt Time a que está capacitada.

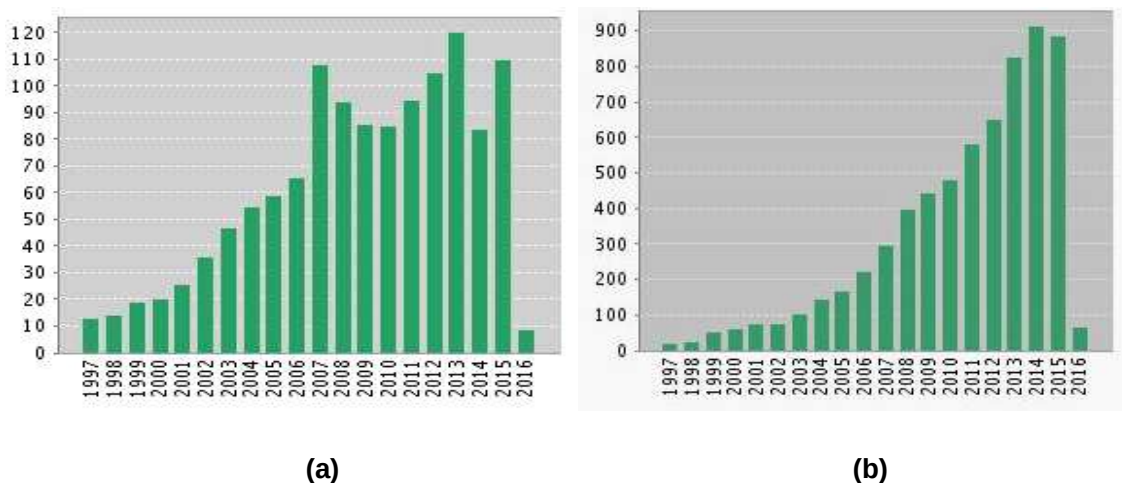
Com apenas uma planta produtiva no Brasil, localizada na cidade de Resende, a MAN LA produz todos os veículos VW em apenas uma linha de montagem e a velocidade de produção da MAN LA é próxima às velocidades encontradas nas montadoras de automóveis. Fatores geradores de aumento de complexidade para as operações de Produção e Logística.

3.2 – Como foi feita a revisão teórica

O embasamento teórico proveniente da literatura foi construído com obras selecionadas na ISI Web of Science com as palavras-chave “*mass customization*”, “*complexity*”, “*operational performance*”, “*product variety*”. A revisão sistemática da literatura permitiu a seleção de setenta trabalhos com proposições, modelos e diferentes soluções para tratar a complexidade e o aumento de variações nos portfolios oferecidos aos clientes. A consulta aos bancos de dados ocorreu no período entre fevereiro de 2014 a janeiro de 2016. Web of Science é uma base de dados do Institute for Scientific Information (ISI), a qual permite a visualização de trabalhos publicados em periódicos internacionais renomados.

Os gráficos contidos na Figura 08 foram extraídos do site da Web of Science e mostram uma crescente deste tema dentro do contexto científico da última década.

Figura 08: Distribuição das palavras (a): “customization” (b) “complexity”



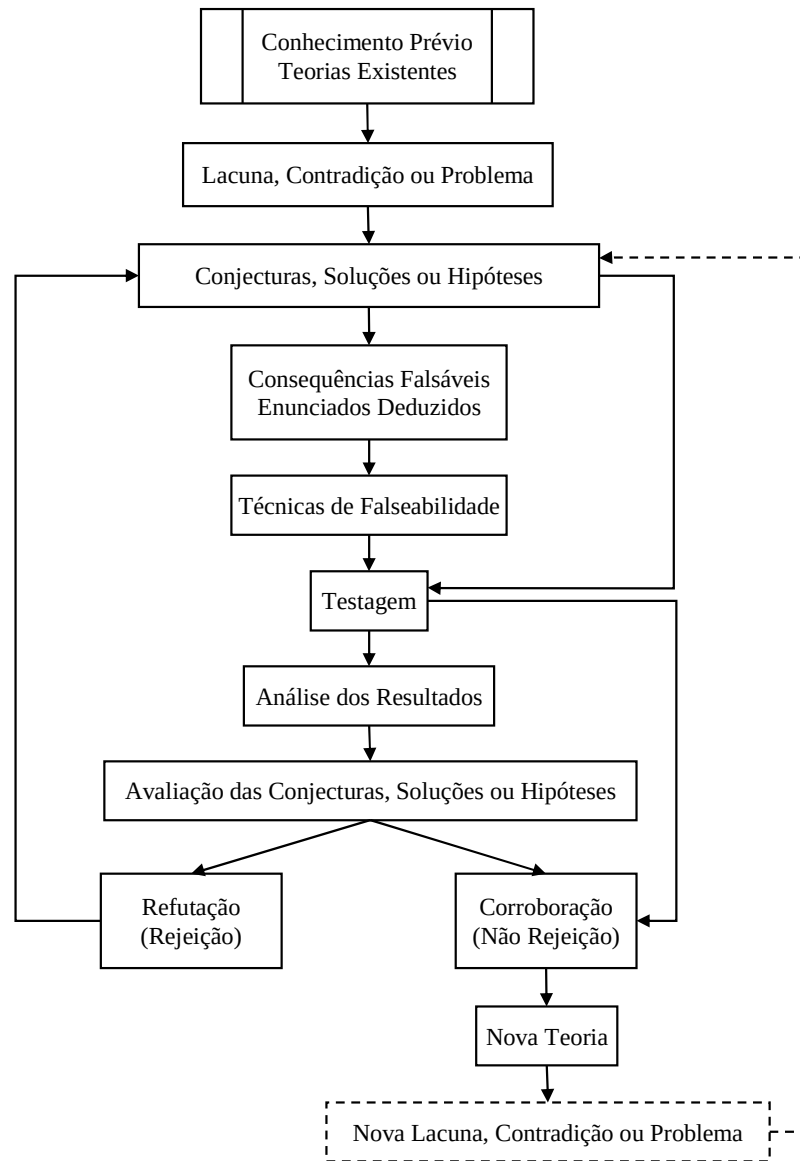
Foram previamente selecionados 346 obras, oriundas de filtros nas bases de pesquisa e selecionados 70 obras. As obras selecionadas para a elaboração desta pesquisa, dividem-se, por publicação, em: 62 artigos, 3 teses, 3 livros e 2 dissertações.

3.3 – Caracterização do Método

O método escolhido para essa pesquisa foi o Hipotético Dedutivo (MARCONI e LAKATOS, 2004). Nesse método, o conhecimento prévio, gerado pela pesquisa sobre o tema, abre margem para hipóteses favoráveis ou contrárias ao senso científico, onde o objeto de pesquisa passa a ser então um problema, podendo se desdobrar em uma confirmação ou negação das teorias existentes.

Com a elaboração de conjecturas, hipóteses ou soluções, os pesquisadores avaliam em um estudo de campo, a validade ou negação dos conceitos pré-estabelecidos e verificados pela pesquisa teórica realizada previamente. A Figura 09 apresenta o fluxograma com as etapas propostas pelo método Hipotético Dedutivo.

Figura 09: Etapas adotadas para a realização da pesquisa



Fonte: MARCONI e LAKATOS, 2004

O método hipotético dedutivo foi criado pelo Austríaco, naturalizado Inglês Karl Popper. Popper foi considerado um dos mais prestigiados pensadores do séc. XX por ter sido pai da falseabilidade e do racionalismo crítico. O método proposto por Popper é adequado para identificar os problemas existentes entre as teorias atuais, onde serão testadas para encontrar as soluções mais adequadas e que melhor representam a realidade. Afinal, quando

se testa uma teoria, este método busca-se compará-las com outras teorias referentes ao mesmo tema, para assim realizar um falseamento. Segundo Köche (2002) o método hipotético dedutivo “é um método que visa auxiliar na compreensão e interpretação da ciência contemporânea”.

Esse método suportará essa investigação científica, através da criação de conjecturas e suas técnicas de falseamento, em função da necessidade de construir e testar uma possível resposta ou solução para um problema, decorrente de algum fato ou conjunto de conhecimentos teóricos sobre os impactos da complexidade nas operações de Produção e Logística.

Segundo Popper (2008) confirmar uma hipótese é utopia, seria necessário acumular todos os casos positivos presentes, passados e futuros. Isso seria impossível. Contudo, segundo o autor a não descoberta de caso concreto negativo corroborará a hipótese.

3.4 – Aplicação do Método – Hipóteses

Passo 1: Conhecimento Prévio e Teorias Existentes:

Para realizar a aplicação do método, a primeira etapa proposta é a aquisição de conhecimento através da consulta em teorias existentes, cumpridas por essa pesquisa conforme apresentado no capítulo de referencial teórico deste texto. O Sub tópico 3.1 apresenta como a pesquisa foi realizado. Portanto, pode-se resumir a primeira etapa da aplicação do método em:

Como apresentado no capítulo de revisão teórica, os conhecimentos adquiridos foram baseados nas pesquisas de artigos científicos, livros e teses, sempre com foco nas seguintes palavras: complexidade, eficiência operacional, customização em massa, mercado automotivo, variedade de produtos.

Passo 2: Lacuna, contradição ou Problema

O segundo passo da aplicação do método hipotético-dedutivo é a definição do problema, lacuna ou contradição. O objetivo principal desta pesquisa é analisar a influência da complexidade na eficiência operacional das áreas de Produção e Logística. Já os objetivos secundários são identificar os principais elementos da complexidade que influenciam as atividades fabris e propor maneiras de gerenciar e reduzir os impactos. Sendo assim, é possível simplificar o problema como segue:

Como a complexidade influencia a eficiência operacional das áreas de Produção e Logística ?

Passo 3: Conjecturas, Soluções ou Hipóteses

O terceiro passo proposto pelo Método, são geradas conjecturas, soluções ou hipóteses que auxiliam a explicação do problema, sendo estas passíveis de testes. Seguem abaixo as hipóteses definidas como objeto deste estudo, com foco no sistema de produção do Consórcio Modular. Primeiramente duas hipóteses que criam uma relação direta entre a magnitude da complexidade e os resultados gerados pelas áreas de Produção e Logística e, por fim, duas hipóteses que isolam os meios produtivos, métodos ou sistemas, propondo que a complexidade independa do processo produtivo utilizado para a produção de um determinado produto. As conjecturas foram selecionadas para relacionar a complexidade com a eficiência operacional no Consórcio Modular.

C1: A eficiência da Produção do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto;

C2: A eficiência da Logística do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto;

C3: É incorreto afirmar que: no Consórcio Modular, quanto maior a complexidade de um determinado processo menor será sua eficiência;

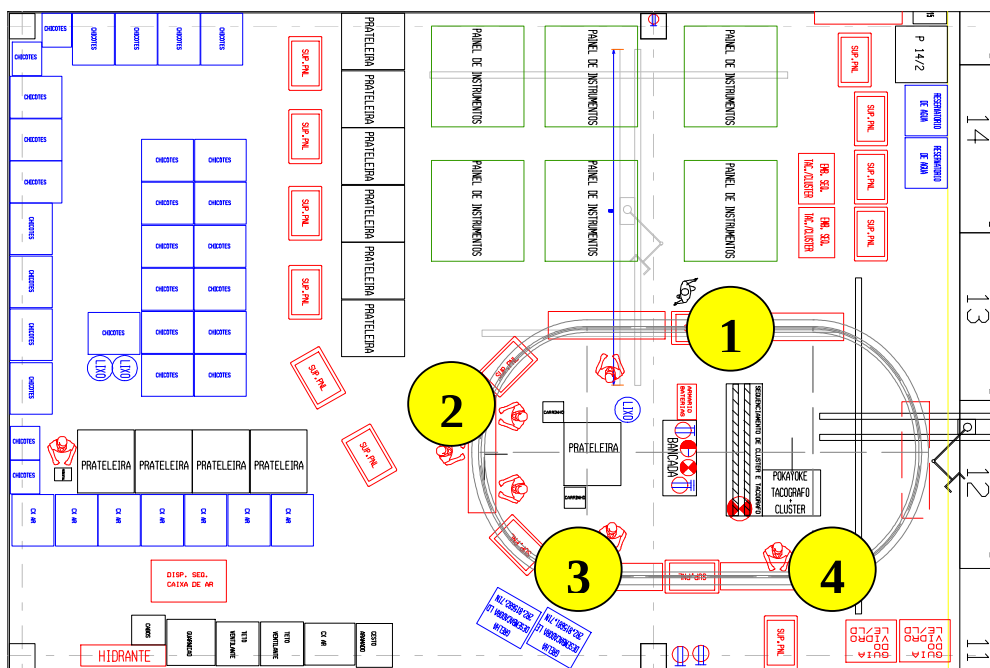
C4: Os métodos utilizados no processo de Produção ou Logística, do Consórcio Modular, são determinantes para neutralizar os impactos da complexidade na eficiência operacional;

3.5 – Aplicação do Método – Estudo de Campo / Falseamento

Nesta etapa da aplicação do método, as hipóteses propostas serão testadas na intenção de corroborar o problema proposto ou falseá-lo. Segundo Popper (2008), quanto mais falseável for uma conjectura, mais científica ela será e assim maior segurança sobre o entendimento do problema em questão. O estudo de campo ocorreu através da observação do comportamento do processo de montagem de painéis dos caminhões Volkswagen na planta de Resende, como recorte do processo produtivo da MAN Latin America.

O processo de pré-montagem de painéis foi selecionado por possuir elevado grau de variações de opcionais oferecidas aos clientes (roteiros elétricos, caixa de fusíveis, disposição das teclas no painel). Outro fator importante para a seleção deste processo é a diferença de métodos de montagem a que estão submetidos seus postos de trabalho. As atividades operacionais apresentadas na pré-montagem de painéis apresentam diferentes níveis de dificuldades para os operadores que ali trabalham. A Figura 10 ilustra o processo de montagem dos painéis, contendo a célula de produção e as áreas de logística em seu entorno para abastecimento das peças utilizadas na montagem dos painéis.

Figura 10: Célula de pré-montagem de painéis – área delineada para estudo



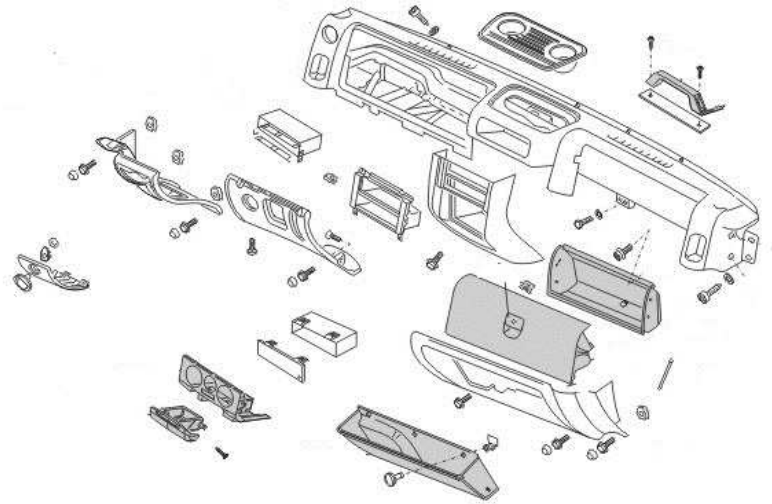
A pré-montagem de painéis é dividida em quatro postos de trabalho, e os demais elementos apresentados na Figura 10 fazem parte do processo de Logística. As operações de produção dos postos estão resumidas na Tabela 02.

Tabela 02: resumo das operações dos postos de pré-montagem de painéis

Posto	Montagens
1	Seleção Painéis Montagem Chicote
2	Suporte Unidade comando Modulo Cinta Cobertura
3	Interruptor/ tecla Rele tacógrafo
4	Cluster

Como ilustração das montagens realizadas nesse processo produtivo, foram selecionadas as Figuras 11, 12 e 13. As montagens ilustradas na Figura 11 correspondem às peças plásticas e componentes do revestimento dos painéis.

Figura 11: Peças plásticas de revestimento do painel



As Figuras 12 e 13 ilustram as montagens do chicote principal e dos relés na caixa de fusíveis, respectivamente. O elevado número de componentes e as possíveis combinações fazem com que essas montagens se tornem complexas.

Figura 12: montagem do chicote elétrico principal

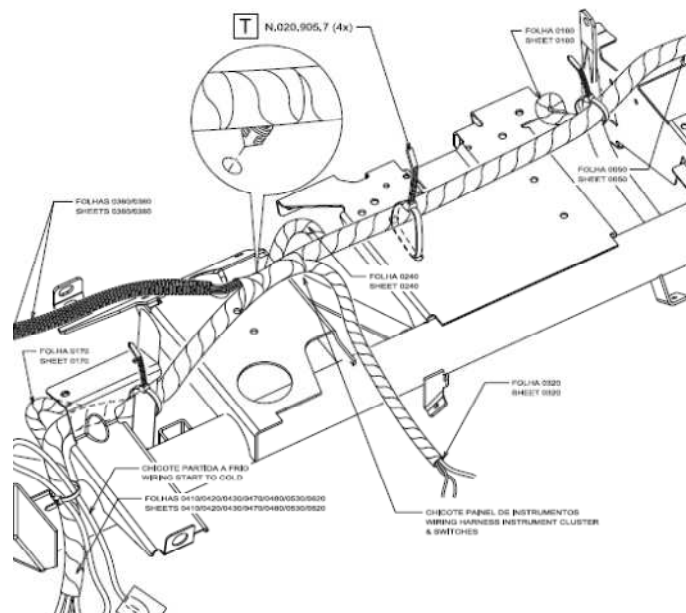
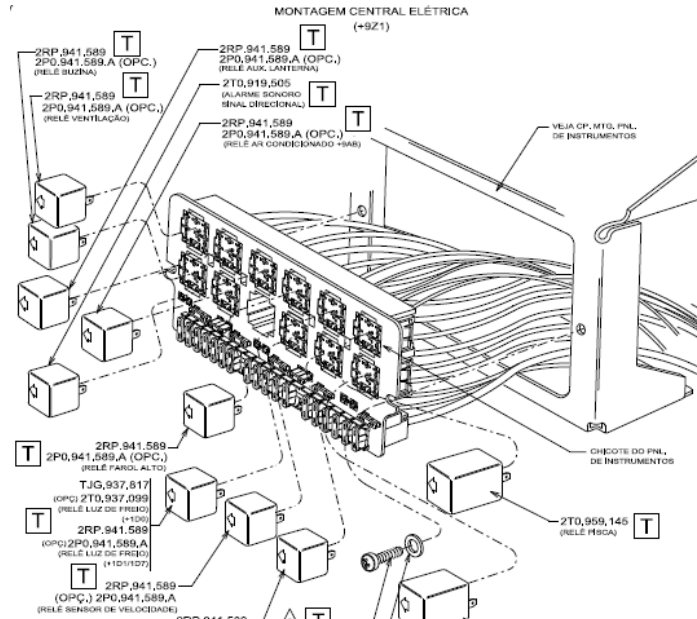


Figura 13: montagem dos relés na caixa de fusíveis



Para a realização dos testes de validação das hipóteses e tentativa de falseamento, conforme método hipotético dedutivo, foram observadas informações do processo de montagem da linha de painéis no Consórcio Modular em Resende.

Passo 04 : Tentativas de falsear as conjecturas

Como tentativa de falsear as hipóteses apresentadas, serão calculadas as magnitudes da complexidade (H) de cada posto de montagem e serão comparados aos indicadores de desempenho de Produção (E_{prod}) e Logística (E_{log}) para cada posto de trabalho. Serão observados também os métodos ou meios de produção e logística a que cada posto é submetido e os sistemas que apoiam a Logística para a puxada de cada uma das peças posto a posto.

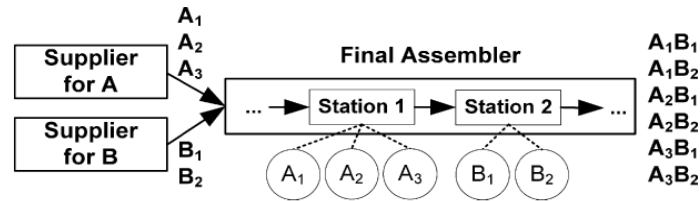
Os dados de entrada referem-se às informações a serem examinadas que determinam o comportamento da linha de montagem em suas dimensões de produção e também de logística. As estações de trabalho da linha de painéis serão estudadas separadamente. Como mostra a Tabela 03, as possíveis combinações de painéis, gerada pela combinação das montagens de cada um dos postos de trabalho, serão analisadas.

Tabela 03: Dados avaliados durante a pesquisa

	Dados de Entrada	Dados de Saída
PRODUÇÃO	# postos de montagem # colaboradores # equipamentos por posto # set up equipamentos * instruções montagem * Sequencia de montagem * Lead time montagem * Tak time	* Volume produção * Ocorrências de qualidade * Paradas de produção * Montagens não conforme
LOGÍSTICA	# componentes por posto # estoques das peças # combinações possíveis # fornecedores * metodos de abastecimento * dispositivos de abastecimento	* Peças faltantes * Obsolescência * Materiais em excesso * Sucateamento peças * Divergência inventário

Os dados de entrada serão utilizados para o cálculo da complexidade de cada um dos postos de montagem. O método selecionado para cálculo da complexidade (H_i) será a entropia da informação, proposto por Hu (2012), que define a complexidade como a média das incertezas de lidar com a variedade de produtos em um processo randômico i , que pode ser descrita pela função de entropia H_i conforme Figura 14, onde p é a probabilidade de um evento acontecer.

Figura 14: Equação para cálculo da Entropia Informação



$$H_i(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iM_i}) = -C \sum_{j=1}^{M_i} p_{ij} \log p_{ij}$$

Diversos estudos analisados utilizam esse método na indústria automotiva e apontam o método, também proposto por Efthymiou al. (2012), como o mais indicado para operações com maior nível de interação humana. Os dados de entrada utilizados para esse cálculo são: o número de peças por posto de montagem e a probabilidade de utilização de cada. A constante C será considerada 1, uma vez que utilizaremos a função logarítmica com base 2, conforme proposto por HU (2012).

Os dados de saída determinam a eficiência de cada posto de trabalho, que serão apresentados por E_{prod} , quando se tratar de eficiência na produção e por E_{log} , quando a referência for de Logística.

Os indicadores apresentados nas Tabelas 04 e 05 representam as eficiências no Consórcio Modular. Importante ressaltar que estes indicadores de eficiência foram arbitrados para este trabalho como os mais relevantes para as áreas de Produção e Logística.

Tabela 04: Indicadores de Produção do Consórcio Modular.

Indicador	Sigla	Descrição	Impacto
Paradas Produção	P	tempo de paradas de linha	entrega / custo
Montagens não conformes	M	nº ocorrências de qualidade	qualidade / custo

Paradas de Produção (P) representam em minutos o tempo de interrupção da linha de montagem em função de problemas gerados pelo posto de trabalho. Montagens não conforme

(C) representam o número de problemas identificados no momento dos testes de veículos e que estão atrelados à pré-montagem de painéis. A eficiência de Produção $E_{i\ prod}$ será medida por esse conjunto de indicadores de maneira isolada.

Tabela 05: Indicadores de Logística do Consórcio Modular

Indicador	Sigla	Descrição	Impacto
Obsolescência	O	nº de peças sem uso / baixo giro	custo
Cripple	C	nº de peças faltantes durante a montagem	entrega / custo
Cobertura	D	dias de cobertura de estoque	custo

A obsolescência das peças montadas em um determinado posto serão representadas por O e Cripple (C) representa o número de peças faltantes durante a montagem. Já a cobertura (D) mostra a quantidade de dias em estoque das peças relativas ao posto de trabalho. Todos os indicadores medem as ineficiências dos postos, ou seja, quanto maior forem os valores encontrados, pior será a eficiência do posto. A eficiência de Produção $E_{i\ Log}$ será medida por esse conjunto de indicadores de maneira isolada.

Portanto, como tentativa de falsear as conjecturas propostas, as informações posto a posto serão comparadas H_i versus $E_{i\ prod}$ e H_i versus $E_{i\ log}$ como proposto na Figura 13. As observações que serão acrescentadas na comparação serão facilitadoras das análises a serem realizadas e propostas no próximo capítulo desta pesquisa. Elas serão registradas com base nos dados de entrada para caracterizar diferentes meios e métodos de Produção e Logística realizados pelos operadores e analistas de cada posto.

Figura 15: Comparativo entre Entropia e Eficiência

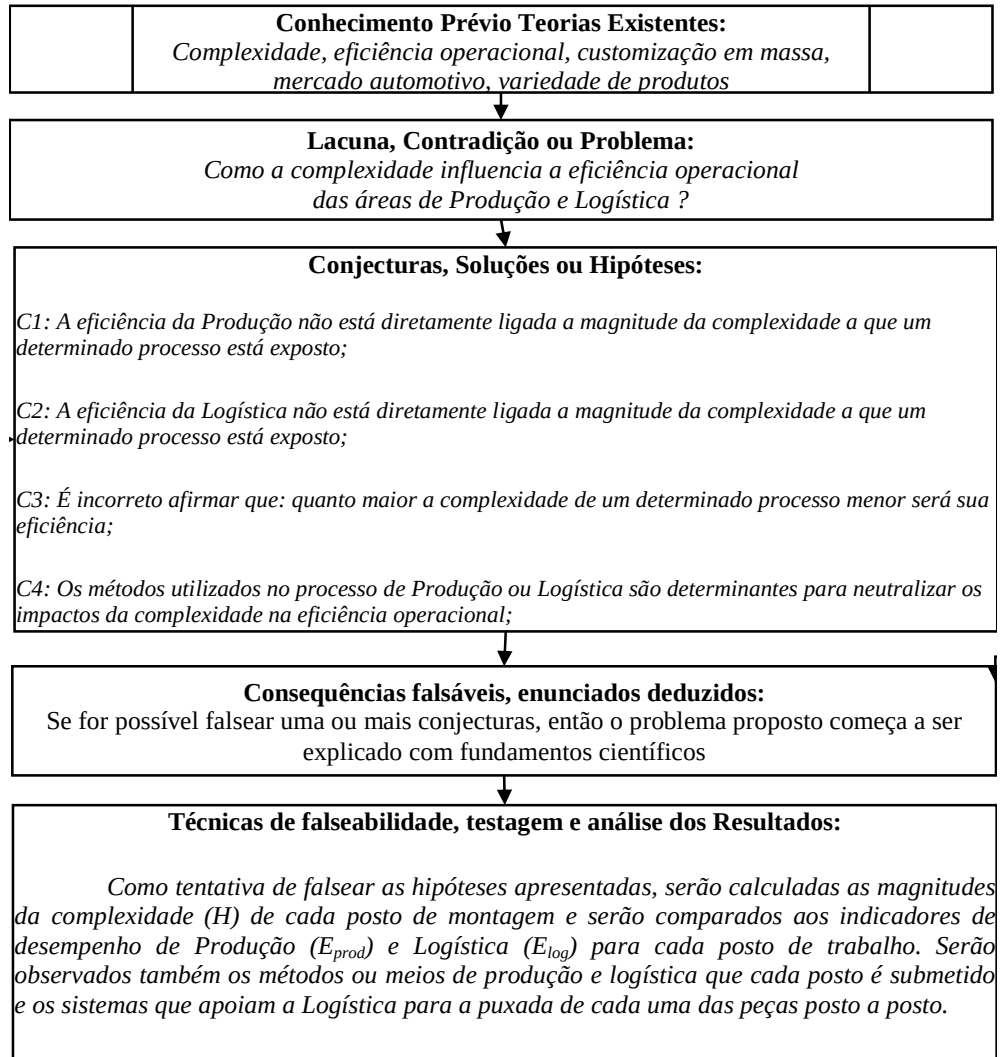
Complexidade do posto	Eficiência Logística	Observação dos meios e métodos
H 1	$E_{log} 1$	OBS 1
H 2	$E_{log} 2$	OBS 2
H 3	$E_{log} 3$	OBS 3
H 4	$E_{log} 4$	OBS 4

O mesmo comparativo, ilustrado na Figura 15, será realizado como base de análise das hipóteses relacionadas à eficiência de Produção.

A Figura 16 apresenta um resumo das etapas de aplicação do método hipotético dedutivo. As demais etapas de análise de resultados e conclusões serão apresentados nos próximos capítulos deste estudo.

Resumo das etapas realizadas do método hipotético dedutivo:

Figura 16: Etapas do método aplicado



4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos nos postos da linha de painéis, referentes à complexidade a eles submetida e os principais indicadores de desempenho das áreas operacionais de Produção e Logística.

Primeiramente serão calculadas as entropias de cada posto de trabalho e representam a complexidade do processo de montagem de painéis. Em seguida são apresentados resultados da eficiência operacional de cada posto, levando em consideração os indicadores de Produção e Logística propostos. Os dados de complexidade e eficiência são comparados e as análises apresentadas, com a contribuição da avaliação dos meios de produção utilizados por cada posto de trabalho.

Para calcular o nível de entropia, que representa a magnitude da complexidade H_i , de cada posto, foi utilizada a Equação 01, onde C é uma constante que varia conforme a escolha da base da função logarítmica. Para cálculo da entropia H_i será utilizada a função logarítmica com base 2 (HU et al., 2008 e ZHU et al., 2008), sendo assim, a constante C é igual a 1 e a unidade de medida da complexidade será *bit*.

Equação 01: Entropia do posto

$$H_i(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iM_i}) = -C \sum_{j=1}^{M_i} p_{ij} \log p_{ij}$$

A probabilidade p_{ij} , que representa a chance de cada componente ser utilizado, é considerada a mesma para todas as montagens, ou seja, cada componente tem a mesma chance de ser utilizado, cada um em sua função. As montagens de cada posto variam com a quantidade de componentes utilizados e são representadas na equação por M_i .

A Tabela 06 apresenta o cálculo realizado para obtenção da entropia H_i dos postos da montagem de painéis da empresa pesquisada. Indica-se o nível das montagens dos componentes (i) e a quantidade de variações a que cada componente está submetido (j). É possível observar também os valores obtidos com a aplicação da equação do cálculo da entropia. Ao considerar iguais as probabilidades de montagem de um determinado componente, percebe-se que probabilidade P_{ij} é encontrada por $1/j$. Por exemplo, os vinte

painéis montados no Posto 1 têm uma probabilidade de 5% de serem selecionados. A entropia calculada está relacionada ao respectivo posto de montagem. No posto 1 existem duas atividades (i), o montador executa a seleção de painéis e montagem chicotes. Neste posto, ao somarmos as peças passíveis de montagem ($j_1 + j_2$) encontramos um total de 236 peças, que com essa configuração resultam em uma entropia $H = 12,08$ bits.

Tabela 06: Entropia de cada posto de pré-montagem de painéis

Posto	Montagens	i (quantidade de montagens)	j (nº de peças)	P_{ij} (probabilidade de utilização de cada peça)	H_{ij} (entropia de cada montagem)	H_i (entropia do posto)
1	Seleção Painéis	1	20	0,0500	-4,32	12,08
	Montagem Chicote	2	216	0,0046	-7,75	
2	Suporte	1	7	0,1429	-2,81	12,56
	Unidade comando	2	8	0,1250	-3,00	
	Modulo	3	9	0,1111	-3,17	
	Cinta	4	6	0,1667	-2,58	
	Cobertura	5	2	0,5000	-1,00	
3	Interruptor/ tecla	1	57	0,0175	-5,83	15,95
	Rele	2	41	0,0244	-5,36	
	tacógrafo	3	27	0,0370	-4,75	
4	Cluster	1	131	0,0076	-7,03	7,03

Segundo Zhu et al. (2013) há uma grande similaridade e conexão entre as propriedades teóricas da medida da complexidade e o cognitivo humano. Os pesquisadores constataram que quanto maior forem os níveis de estímulos e decisões a que uma pessoa for submetida, maior serão as chances do processo em apresentar falhas, devido ao stress psicológico causado por longos períodos de atividade cognitiva. Se comparados com os estudos pesquisados, apenas o Posto 4 não extrapola o limite de 8 bits, valor limite indicado para a capacidade de processamento humano (GALLOTTI et al., 2015; MILLER, 1956).

Tabela 07: Complexidade por posto

Posto	<i>i</i> <i>Montagens</i>	<i>j</i> <i>Variações (peças)</i>	<i>H</i> <i>Entropia posto</i>
1	2	236	12,08
2	5	32	12,56
3	3	125	15,95
4	1	131	7,03

A Tabela 07 consolida os resultados do cálculo de complexidade, medido por meio da entropia H e também o número de peças disponíveis para as montagens. Ao observar os dados, nota-se que o número de montagens i de um determinado posto é mais significativo para a dimensão da complexidade que as variações de peças. Pois, se compararmos os Postos 1 e 2, notamos que apesar do Posto 1 ter um número de variações muito superior ao 2, as entropias se equivalem, 12,56 bits para o Posto 1 e 12,08 bits para o Posto 2, por conta do número superior de montagens observados no posto 2. Ao realizar a mesma comparação entre os Postos 3 e 4, ambos com variações relativamente parecidas, 125 e 131 peças, têm complexidades muito diferentes, 15,95 e 7,03 bits respectivamente. Pode-se concluir que essa diferença se deve ao número superior de montagens do Posto 3 em relação ao Posto 4.

Com isso evidencia-se que as magnitudes das complexidades, nos Postos 1, 2 e 3, extrapolam os limites dos valores recomendados para atividades que dependam do cognitivo humano. É possível observar também que o número de montagens a que cada posto é submetido tem maior influência na magnitude da complexidade que o número de peças disponíveis para a realização das montagens.

4.1 – Cálculos da Eficiência da Produção – posto a posto

A eficiência de cada Posto relacionada aos indicadores de produção Eprod é apresentada pelos indicadores de paradas de produção (P), referentes às interrupções na linha de montagem e às montagens não conforme (M), constatadas no momento da inspeção de testes dos veículos.

Os dados de paradas de linha (P) são apresentados separadamente, com tempo de duração e o problema ocorrido. No período observado apenas o posto 1 apresentou eventos de paradas de produção, com um total de noventa e seis minutos de linha parada, conforme mostrado na tabela 08.

Tabela 08: Tempos de parada

Posto	<i>Ocorrência de paradas</i>	P
		<i>Tempo de duração (min)</i>
1	7	96
2	0	0
3	0	0
4	0	0

Já os dados de ocorrências de montagens não conformes (M), relativos à montagem de painéis, são listados na Tabela 09.

Tabela 09: Montagens não conformes

Posto	M <i>Montagens não conformes</i>
1	1612
2	3412
3	887
4	437

É possível observar um elevado número de ocorrências nos Postos 1 e 2, principalmente devido à montagem das peças plásticas, sensíveis ao manuseio, presentes nesses Postos, como por exemplo a cobertura inferior (Posto 2) e o painel (Posto 1).

A tabela 10 apresenta os dados de complexidade relacionados aos indicadores de paradas de produção (P) e da quantidade de montagens não conforme (M).

Tabela 10: Comparativo entre complexidade e eficiência de Produção

Posto	<i>i</i> <i>Montagens</i>	<i>j</i> <i>Variações (peças)</i>	<i>H (bits)</i> <i>Entropia posto</i>	<i>P (min)</i> <i>Paradas Produção</i>	<i>M</i> <i>(# não conformidades)</i>
1	2	236	12,08	96	1612
2	5	32	12,56	0	3412
3	3	125	15,95	0	887
4	1	131	7,03	0	437

Ao comparar a magnitude da complexidade H com as paradas de produção P de cada posto, não é possível observar correlação, visto que apenas o posto 1 apresentou ocorrências, totalizando 96 minutos de linha parada. A mesma falta de correlação pode ser observada ao comparar a entropia (H) os valores encontrados para as não conformidades (M), uma vez que os postos 3 e 4 apresentam melhor eficiência em relação aos demais, por terem menor número

de ocorrências de qualidade e também paradas de produção, mesmo sendo o posto 3 o de maior entropia entre os postos pesquisados.

Em resumo, não é possível observar uma correlação entre a magnitude da complexidade e a eficiência de Produção do processo investigado. Portanto, com base na utilização da entropia para cálculo da complexidade e com a seleção dos indicadores de eficiência selecionados por esta pesquisa, não é possível falsear a primeira conjectura proposta neste trabalho, proposta durante a aplicação do método Hipotético Dedutivo.

C1: A eficiência da Produção do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto;

É possível observar que mesmo se a escolha para a representação da grandeza de complexidade fosse o número de peças, ou o número de montagens de cada posto, ainda assim, com base nos números apurados a conjectura não poderia ser falseada.

4.2 – Cálculos da Eficiência Logística – posto a posto

A eficiência de cada posto relacionada aos indicadores de logística E_{log} é apresentada pelos indicadores de Obsolescência (O), falta de peças (C) e por dias que as peças têm de cobertura de estoque (D), conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Eficiência de Logística

Posto	O <i>Obsolescência</i> # peças	C <i>Peças faltantes</i> # peças	D <i>Cobertura estoque</i> # dias
1	122	0	1
2	2	1	26,6
3	23	32	13,9
4	0	11	0

Para calcular o número de peças de baixo giro ou obsoletas (O) por posto, foi utilizado o relatório dos sistemas de logísticas da MAN. Pode-se observar um elevado número de peças obsoletas ou de baixo giro no posto 1, que ocorre devido ao processo de atualização e utilização dos chicotes elétricos do painel.

O Número de Peças Faltantes (C) foi apurado nos registros dos sistemas de Logística. É possível notar um número elevado no posto 3. Esse posto tem como característica a montagens de itens pequenos como teclas e relés e apesar de apresentar menor número de peças disponíveis que o posto 1, mostra um nível menor de eficiência se considerarmos este quesito.

A Cobertura de Estoques (D) é apresentada em dias e, assim como os demais indicadores de eficiência, teve como base os sistemas Logísticos. Ao observar as informações de cobertura de estoques dos postos 1 e 4, os valores chamam atenção devido aos baixos níveis apurados. No posto 1 o fato que se deve à utilização de ferramentas JIS para os chicotes, sistema esse que regulariza a puxada de peças conforme a sequência firme de produção, reduzindo assim drasticamente o estoque dentro da planta. No posto 4, onde as montagens se concentram na peça “Cluster” o indicador de cobertura de estoque é igual a 0 por esta se tratar de peça “Make”, sistema esse em que as peças permanecem sob propriedade do fornecedor (neste caso parceiro Continental) até o momento final da montagem.

Como tentativa de falsear a conjectura “C2: A eficiência da Logística do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto”, a tabela 12 apresenta a correlação entre complexidade e eficiência Logística de cada posto de trabalho.

Tabela 12: Comparativo entre complexidade e eficiência Logística

Posto	<i>i</i> <i>Montagens</i>	<i>j</i> <i>Variações</i> <i>(peças)</i>	<i>H (bits)</i> <i>Entropia posto</i>	O <i>Obsolescência</i> <i># peças</i>	C <i>Peças faltantes</i> <i># peças</i>	D <i>Cobertura estoque</i> <i># dias</i>
1	2	236	12,08	122	0	1
2	5	32	12,56	2	1	26,6
3	3	125	15,95	23	32	13,9
4	1	131	7,03	0	11	0

Ao analisar os dados de complexidade H , calculados através da equação de entropia, é possível concluir que não há como estabelecer uma correlação direta se compará-los aos indicadores de desempenho Logístico O , C e D encontrados por esta pesquisa. Sendo assim incapaz de falsear a conjectura $C2$.

A exemplo do que fora encontrado com a eficiência de Produção, mesmo que a escolha para a representação da grandeza de complexidade fosse o número de peças, ou o número de montagens de cada posto, ainda assim, com base nos números apurados a conjectura $C2$ (Logística) não poderia ser falseada.

A conjectura “ $C3$: É incorreto afirmar que: no Consórcio Modular, quanto maior a complexidade de um determinado processo menor será sua eficiência” também se apresenta válida com base nos dados observados durante correlações entre entropia e eficiência, seja na Produção ou Logística.

4.3 – Avaliação dos Métodos Facilitadores

Como tentativa de falsear a conjectura “ $C4$: Os métodos utilizados no processo de Produção ou Logística, do Consórcio Modular, são determinantes para neutralizar os impactos da complexidade na eficiência operacional”, a pesquisa avaliou os métodos de Produção e Logística aplicados em cada um dos postos.

Os métodos utilizados neste processo que foram observados e destacados por essa pesquisa estão apresentados na tabela 13:

Tabela 13: Métodos Facilitadores aplicados na pré-montagem de painéis

Posto	Montagens	Métodos Facilitadores PRODUÇÃO	Métodos Facilitadores LOGÍSTICA
1	Seleção Painéis Montagem Chicote		Sequenciamento por voz Entrega Sequenciada (JIS)
2	Suporte Unidade comando Modulo Cinta Cobertura	Sequenciamento por voz Poka Yokes	e-Kanban
3	Interruptor/ tecla Rele tacógrafo	Set up tacógrafo informatizado Sequenciamento por voz Poka Yokes	
4	Cluster	Sequenciamento por voz	Peça MAKE

Os métodos utilizados para facilitar a montagem e prevenir problemas na Produção identificados pela pesquisa são:

- Sequenciamentos por voz: sistema informatizado que permite a seleção e envio de peças à linha de produção, com a utilização de aparelho auditivo para orientar os operadores durante o processo. Esse método, utilizado pela Logística, tem grandes benefícios durante o processo de montagem, porque as escolhas passam a ser realizadas pelo sistema, eliminando as limitações do cognitivo humano.
- Poka Yoke: dispositivos que previnem erros operacionais durante as atividades de montagens. Utilizam-se travas mecânicas como orientação e única maneira de concluir a atividade com a correta montagem dos componentes.
- Set up informatizado: para a seleção das informações a serem introduzidas nos tacógrafos, o set up informatizado realiza automaticamente a seleção da versão e a configuração correta do equipamento. Nesse processo o operador utiliza um leitor óptico para leitura de um código de barras e o sistema realiza o restante da tarefa.

Já os métodos utilizados para facilitar a Logística das peças e reduzir as ineficiências identificados pela pesquisa são:

- *Just in Sequence (JIS)* – entrega sequenciada: os fornecedores das peças recebem as informações precisas da sequência firme de produção e somente embarcam nos veículos de transportes de envio para a fábrica, as peças que serão utilizadas para a produção do dia seguinte. Esse sistema evita que peças que não serão utilizadas sejam enviadas, gerando assim excessos de materiais, ocupação de áreas desnecessárias e também a obsolescência.
- E-Kanban: assim como o JIS, o e-Kanban é um sistema de requisição de peças para a produção que, ao ser utilizado, os fornecedores recebem informações da sequência de produção e leva em conta os níveis de inventário existentes dentro da fábrica. Com isso, apresenta os mesmos benefícios do JIS, porém é utilizado para componentes sem grande variedade de opcionais.
- Peças MAKE: esse método, presente no Consórcio Modular, permite que os fornecedores parceiros presentes dentro do Consórcio entreguem suas peças diretamente na linha de produção e somente recebem o pagamento pelos componentes após a sua utilização final nos veículos. Com isso, todas as atividades de Logística e suas dificuldades são responsabilidade dos fornecedores.

A relação entre a aplicação dos métodos facilitadores apresentados e os indicadores de eficiência de Produção de cada posto são demonstrados na tabela 14.

Tabela 14: Comparativo entre eficiência de Produção e Métodos Facilitadores

Posto	<i>H (bits)</i> <i>Entropia posto</i>	<i>P (min)</i> <i>Paradas</i> <i>Produção</i>	<i>M</i> <i>(# não conformidades)</i>	Métodos Facilitadores PRODUÇÃO
1	12,08	96	1612	
2	12,56	0	3412	Sequenciamento por voz Poka Yokes
3	15,95	0	887	Set up tacógrafo informatizado Sequenciamento por voz Poka Yokes
4	7,03	0	437	Sequenciamento por voz

O Posto 1 apresenta paradas de produção e um número relativamente alto de ocorrências de montagem, e nesse posto não foram identificados métodos facilitadores. O Posto 2 não apresenta eventos de paradas de produção, contudo é posto dentre os estudados que tem pior eficiência de produção se levarmos em conta as não conformidades de montagem, com 3412 ocorrências encontradas durante o período avaliado. Esse posto apresenta também o maior nível de montagens, cinco no total. Ao avaliar mais detalhadamente as ocorrências de não conformidade de montagens do posto 2, observa-se que as causas das falhas são relativas a riscos e danos das peças de aparência que são mais sensíveis ao manuseio, não tendo como origem a complexidade. Portanto, é possível concluir que os resultados poderiam ser ainda piores se não fossem aplicados os métodos facilitadores neste posto. No posto 3 também não foram constatadas paradas de produção e a eficiência relativa à conformidade das montagens se apresenta bem melhor que no Posto 2. O Posto 3 é o de maior complexidade calculada, tendo 15,95 bits de entropia e as peças presentes também são sensíveis a riscos e danos no manuseio, portanto, pode-se creditar a eficiência aos diversos métodos facilitadores encontrados no posto. O Posto 4 é o de menor nível de montagens dentre os quatro postos estudados e também é o de menor entropia, 7,03 bits, entropia essa passível de ser administrada pelo cognitivo humano, por isso e pela utilização do método facilitador, apresenta melhor resultado operacional.

Os métodos facilitadores relevantes encontrados para os processos logísticos da pré-montagens de painéis e sua correlação com os indicadores de eficiência podem ser observados na tabela 15.

Tabela 15: Comparativo entre eficiência Logística e Métodos Facilitadores

Posto	<i>H (bits)</i> <i>Entropia posto</i>	O <i>Obsolescência</i> <i># peças</i>	C <i>Peças faltantes</i> <i># peças</i>	D <i>Cobertura</i> <i>estoque</i> <i># dias</i>	Métodos Facilitadores LOGÍSTICA
1	12,08	122	0	1	Sequenciamento por voz Entrega Sequenciada (JIS)
2	12,56	2	1	26,6	e-Kanban
3	15,95	23	32	13,9	
4	7,03	0	11	0	Peça MAKE

Os métodos de Logística, assim como os de Produção, se mostram eficazes e têm grande influência nos resultados operacionais. O Posto 1, onde são aplicados o JIS e o sequenciamento por voz, apresenta grande eficiência em cobertura de estoques e peças faltantes. Seu nível de obsolescência se deve à grande quantidade de atualizações de produto nos chicotes do painel, que não são prevenidos pelos métodos a este posto aplicados. O Posto 2 apresenta boa eficiência. Os 26,6 dias de peças em estoque estão concentrados nas peças que não utilizam o método e-kanban e nenhum outro método relevante. A eficiência do Posto 3 a pior entre eles, posto de pior entropia e maior nível de montagens, não tem métodos relevantes aplicados. E por fim o posto 4, que tem características de entropia baixa, baixo nível de montagens e o método de peças MAKE aplicado, se mostra o mais eficiente dentre os postos.

Evidencia-se forte influência da complexidade nas eficiências operacionais dos postos que não têm métodos facilitadores aplicados. Ou seja, ratificando o que pesquisadores já postularam, a complexidade traz impactos aos processos produtivos. Contudo, com sua aplicação, os métodos de facilitadores conseguem neutralizar, total ou parcialmente os efeitos

negativos da complexidade. Portanto a conjectura C4 não pode ser falseada pelos resultados e análises desta pesquisa.

Uma reflexão oportuna envolve a correlação entre complexidade e memória de montagem. Ao comparar o volume de peças obsoletas (O) do Posto 1 com o indicador de produção (M) do mesmo Posto, pode-se sugerir uma relação entre nível de obsolescência e qualidade de montagem. Sendo assim, quanto maior a frequência do uso de uma determinada peça, menor a chance do operador em errar a montagem. Importante observar que essa relação se dá entre indicadores apurados e não estão relacionados com a magnitude da entropia. Como dito na revisão da teoria, a complexidade está ligada ao nível de informações e decisões a serem tomadas pelo operador e não a sua capacidade de memória. Ou seja, podem existir processos que, mesmo com baixos níveis de complexidade, submetem o operador ao uso da memória, deixando-o suscetível a eventuais erros.

Para exemplificar a análise, a Tabela 16 traz dois processos hipotéticos idênticos. O primeiro tem probabilidades de montagem dos componentes definidas em 99% para um e 1% pra o outro, apresentando 0,08 bits de entropia. Os componentes do segundo processo têm probabilidades iguais (50% cada) e apresenta 1,0 bits de entropia. Com isso, é possível deduzir que o posto hipotético 1, apesar de ter menor complexidade, está mais suscetível a falhas por memória do operador, visto que a probabilidade de uma das peça é de 1% enquanto que no posto hipotético 2, de complexidade maior, todas peças apresentam maior frequência de montagem.

Tabela 16: comparativo entre complexidade e frequência de montagem

Posto	i (quantidade de montagens)	j (nº de peças)	P_{ij} (probabilidade de utilização de cada peça)	H_n (entropia de cada peça)	H_i (entropia do posto)
Hipotético 1	1	1	99%	-0,01	0,08
		1	1%	-0,07	
Hipotético 2	1	1	50%	-0,50	1,00
		1	50%	-0,50	

A síntese e conclusão das análises apresentadas nesse capítulo podem ser resumidas em :

- O número de montagens presentes em cada posto de trabalho implica na magnitude da entropia. Portanto, a variedade de peças dentro cada montagem não deve ser único foco de observação e preocupação quando se trata de complexidade. Apenas o Posto 4 não apresenta valores maiores que o limite proposto de 8 bits, portanto, os demais postos têm alta entropia de informações a serem gerenciadas, fazendo da pré-montagens de painéis um processo complexo;
- Utilizando o método de entropia da informação para cálculo da complexidade e até mesmo observando a quantidade de variações de peças, não foi possível estabelecer relação entre complexidade e eficiência operacional de maneira direta e isolada, outros fatores implicam essa relação. Os meios a que os processos estão expostos, sejam eles sistemas, métodos, travas mecânicas, etc, são fundamentais para a eficiência operacional. Mesmo que a complexidade seja alta, com utilização de métodos corretos os impactos podem ser neutralizados parcialmente ou por completo. Sendo assim não foi possível falsear as conjecturas propostas por esta pesquisa, dando margem a uma teoria complementar, como sugerido pelo método hipotético dedutivo;
- A “complexidade” e “memória de montagem” são faces distintas do mesmo problema. Ambos, se avaliados isoladamente, causam pré-disposição ao erro humano, contudo não estão relacionados entre si. Apesar de “complexidade” e “memória de montagem” estarem ligadas ao cognitivo humano, não o afetam da mesma maneira. Complexidade está ligada ao processo de decisão e escolhas, e é oriunda do nível e variedade de montagens. Já a memória de montagem, como o próprio nome diz, depende da capacidade de armazenar informações e utilizá-las em um momento futuro, sendo este intimamente ligado à frequência de montagem a que os opcionais estão submetidos.

5 – IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

A habilidade das empresas em gerenciar a complexidade pode ser um diferencial competitivo. Os esforços para conter, eliminar e neutralizar os impactos do aumento da variedade nas áreas operacionais têm cada vez mais se tornando tarefa dos gerentes industriais. Este capítulo sugere o desenvolvimento e aplicação de métodos práticos como contramedida aos efeitos da complexidade.

Para reduzir a complexidade as empresas investem em grandes estratégias como a divisão de produtos entre suas unidades industriais, desenvolvimento de produtos modulares, etc. Porém, como demonstrado por este trabalho, existem maneiras menos custosas e mais rápidas para neutralizar os impactos da complexidade.

Diversos autores postulam a complexidade como responsável pela ineficiência operacional, porém, a maneira com que isso ocorre, as relações de causa e efeito não são totalmente esclarecidas ainda. Contudo, como apresentado na página seção 2.2, a entropia da informação, imprevisibilidade e incerteza na demanda e perda da economia de escala, como desdobramento da complexidade são fatores comprovados e presentes na maioria dos estudos. Portanto, os métodos sugeridos nessa seção estarão relacionados a estes fatores.

Abaixo, será apresentada uma síntese contendo os métodos propostos para neutralizar cada fator teórico identificado:

Entropia da informação: como o nível de informação afeta diretamente a capacidade de escolha, e eventualmente a memória de montagem (quando apresentarem frequências muito dispersas) os métodos propostos são contra medidas para isolar o fator “cognitivo humano” da eficiência operacional.

- Poka Yokes – métodos de prevenção a montagens erradas;
- Balanceamento de linha – considerar a magnitude da complexidade no balanceamento de linha, não somente os tempos de montagem. Com isso, a entropia poderia ser equalizada entre os operadores;

- Aplicação de sistemas como “picking by voice”, onde o processo de escolha e acesso à memória não precisam ser utilizados pelos montadores porque são processados por computadores (sem limite de cognitivo);

Imprevisibilidade e incertezas de demanda: esse fator está ligado às previsões de consumo e flutuações na demanda. As imprecisões nas informações técnicas dos produtos também podem causar impacto à Produção e Logística. Para neutralizar esses impactos, são apresentados métodos correspondentes a esses fatores:

- Peças MAKE: com o faturamento de peças após a sua utilização, método intrínseco do Consórcio Modular, as ineficiências devem ser gerenciadas pelos fornecedores evitando custos à montadora, como estoques intermediários e obsolescência de componentes;
- *Jus in Sequence* (JIS) – intensificar a utilização de métodos de requisição de materiais para evitar excessos de estoques. Com esse método, recursos como área necessária e o número de movimentações fica otimizado;
- “*Frozen por PR*” – utilizar períodos firmes de demanda de produção por opcionais. Normalmente as empresas utilizam um período congelado para o veículo e todos os opcionais. Com esse método, os tempos de produção da cadeia logística para cada opcional seriam avaliados e definidos, isso traria ainda mais flexibilidade para Vendas alterar as demandas e maior precisão às previsões de produção.
- *Check permanente de uso* – durante as fases de desenvolvimento de produtos não é possível testar todos os opcionais que ficarão disponíveis à produção. Esta atividade aumentaria em muito os custos e prazos de desenvolvimento. Por isso, apenas opcionais específicos são produzidos nos veículos durante as fases de implementação dos projetos. O método de check permanente de uso é uma comparação entre a lista de peças liberadas por modelo, os níveis de estoques e as demandas de produção, na tentativa de reduzir as inconsistências da lista técnica dos produtos, evitando o excesso de inventário, peças não disponíveis no momento da montagem e a obsolescência dos componentes.

Economia de escala: fator intimamente ligado ao custo dos componentes devido à diluição dos custos fixos dos fornecedores. A perda de economia de escala é indicada como principal causa de as empresas perderem competitividade devido a aumento de custos de componentes. Para neutralizar esses impactos, são apresentados métodos correspondentes a esses fatores:

- Pedidos por família de peças – no momento das negociações comerciais, apesar da alta variedade, o preço de componentes pode permanecer reduzidos fechando-se acordos com fornecedores únicos para uma determinada família de componentes. Isso facilitaria os transportes e o acompanhamento da produção. O Fornecedor único poderia diluir os custos fixos na família de componentes, preservando os preços baixos.
- Raio-x preços versus volume: uma vez efetivados os pedidos com fornecedores de componentes, os preços da peças ficam indexados ao volume previsto no ato da negociação comercial. O acompanhamento do consumo dos componentes e uma avaliação entre o que está sendo utilizado e o que ora tenha sido negociado pode evitar discrepância de preços utilizados.
- Desenvolvimento de Peças com estrutura de fabricação simplificada: ao desenvolver produtos, as áreas de concepção devem avaliar as variações de produto para minimizar os tempos de ajustes nas linhas dos fornecedores, de forma a otimizar o processo produtivo da cadeia logística, evitando lotes mínimos e tornando assim a produção da variação de peças mais eficiente.

6 – CONCLUSÃO E PROPOSTA DE ESTUDOS FUTUROS

Este capítulo apresenta as conclusões da pesquisa, bem como propostas para estudos futuros.

Como previsto pelo método hipotético dedutivo, o objeto da pesquisa foi selecionado e a lacuna identificada: “Como a complexidade influencia a eficiência operacional das áreas de Produção e Logística ?” Para isso foram geradas conjecturas propositivas de maneira a explicar a lacuna no tema escolhido:

C1: A eficiência da Produção do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto;

C2: A eficiência da Logística do Consórcio Modular não está diretamente ligada à magnitude da complexidade a que um determinado processo está exposto;;

C3: É incorreto afirmar que: no Consórcio Modular, quanto maior a complexidade de um determinado processo menor será sua eficiência;

C4: Os métodos utilizados no processo de Produção ou Logística, do Consórcio Modular, são determinantes para neutralizar os impactos da complexidade na eficiência operacional;

O estudo de campo gerou dados para realização das tentativas de falseamento das conjecturas e, como apresentado, não foi possível falsear as conjecturas realizadas. Com isso, uma nova teoria deve ser estabelecida, complementando o entendimento sobre as influências da complexidade na eficiência operacional:

“Não é possível estabelecer relação direta entre complexidade e eficiência de um determinado processo dentro do Consórcio Modular, sem considerar os meios de Produção e Logística a que está submetido. Por si só, a complexidade não explica a eficiência ou ineficiência dos processos, os meios de produção explicam”.

Os meios de produção, sejam eles: sistemas informatizados, métodos, ferramentas mecânicas de prevenção, etc, têm grande influência no desempenho dos processos. Se utilizados corretamente, são capazes de neutralizar, parcial ou totalmente os impactos da complexidade.

Os gerentes devem concentrar esforços para criar transparência sobre o tema e evitar ao máximo a geração de complexidade desnecessária, aquela que cria variações que não encontram potenciais clientes e apenas prejudicam aumentando a entropia dos processos. Ações para eliminar a complexidade existente também são importantes para limpar os sistemas e processos de variações que não são utilizadas.

Muitas empresas decidem por aplicar estratégias maiores para evitar a complexidade, como Modularização no desenvolvimento de produção ou até mesmo a separação da produção de veículos distribuindo-os em diferentes unidades fabris. Contudo, esta pesquisa propõe, em resumo, uma alternativa de lidar e conviver com a complexidade. Indicando a importância do desenvolvimento e aplicação de meios de produção que sirvam de contra medida aos impactos da complexidade, em especial aos meios dedicados a neutralizar os impactos dos fatores: entropia da informação, imprevisibilidade e incertezas na demanda e perda de economia de escala, sugeridos como mais relevantes em relação às atividades de Produção e Logística.

Com Métodos Facilitadores aplicados a processos complexos as empresas podem eliminar os efeitos da complexidade e aumentar seus níveis de competitividade, sem ter que deixar de diferenciar seus produtos e atender aos seus clientes específicos mantendo excelência desejada por este mercado.

Com o desenvolvimento desta pesquisa, foram elaboradas e implementadas ações práticas na empresa patrocinadora, MAN Latin America, que através de carta, reconheceu os ganhos obtidos, como se pode observar no Anexo A.

Como sugestão de pesquisas futuras, pode-se destacar:

- Definir estratégias multidisciplinares de produção para linhas de montagem (Silva, Tubinho e Seibel, 2015);
- Desenvolver sistemas de montagem mais eficientes a respostas de *time-to-market*, nível de entrega e qualidade (Rekiek et al., 2002);
- Investigar a eficiência dos métodos Lean como contra medida aos impactos da complexidade;

- Desenvolvimento de métodos para neutralizar os impactos da complexidade, com foco em entropia da informação, imprevisibilidade e incertezas nas demandas e perda da economia de escala.

REFERÊNCIAS:

- ALFORD D., SACKETT P., NELDER . G (2000) Mass customization: an automotive perspective; *Int. J. Production Economics* 65 (2000) 99 - 110.
- ARBIX, G.; ZILBOVICIUS, M. (Eds.) *De JK a FHC: a reinvenção dos carros*. São Paulo, Scritta, 1997.
- BAYUS, B.L., PUTSIS JR., W.P., 1999. Product proliferation: an empirical analysis of product line determinants and market outcomes. *Marketing Science* 18 (2), 137–153.
- BLACKENFELT, M. (2001). *Managing Complexity by Product Modularization: Balancing the aspects of technology abd business during the design process*. The Royal Institute of Technology, Stockholm.
- CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Operations Management for Competitive Advantage*. New York: McGraw-Hill, 2006.
- EFTHYMIIOU, K. Manufacturing systems complexity review: Challenges and outlook. v. 3, n. 1, p. 644–649, 2012.
- ELMARAGHY, H. SCHUH G., ELMARAGHY W HA, PILLER F. C, SCHO“NSLEBEN P., TSENG M., BERNARD A (2013) M Product Variety Management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62 (2013) 629–652
- ELMARAGHY W HA, KUZGUNKAYAA O, URBANIC RJ (2005) Manufacturing Systems Configuration Complexity. *Annals of the CIRP* 54(1):445–450.
- FISHER, M. L.; ITTNER, C. D., *The Impact of Product Variety on Automobile Assembly Operations: Empirical Evidence*. Institute for Operations Research and the Management
- FRIZELLE, G. e Y. SUHOV, Y. *The Measurement of Complexity in Production and Other Commercial Systems*. *Proc. Royal Society*, v. 464, p. 2649–2668, 2008.
- FUJITA, K. Product variety optimization under modular architecture. *CAD Computer Aided Design*, v. 34, n.12, p. 953–965, 2002. Acesso em 20/7/2015. Acesso em 20/7/2015. Disponível em: [http://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00149-X](http://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00149-X).
- GÖTZFRIED, M. *Managing Complexity Induced by Product Variety in Manufacturing Companies Complexity Evaluation and Integration in Decision-Making*. Dissertation of the University of St. Gallen - School of Management 2013.
- HALLGREN, M., OLHAGER, J., 2007. Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes, Working Paper WP-347, Department of Management and Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden.

HOLWEG, M., F. PIL. 2004. Linking Product Variety to Order-Fulfillment Strategies - Interfaces 34(5), pp. 394–403, 2004.

HU SJ, ZHU X, WANG H, KOREN Y (2008). Product Variety and Manufacturing Complexity in Assembly Systems and Supply Chains. CIRP Annals – Manufacturing Technology 57:45–48.

HU, S. J.; KO, j.; WEYAND, l.; ELMARAGHY, H. A.; LIEN, T. K.; KOREN, Y; BLEY, H.; CHRYSSOLOURIS, G.; NASR, N.; SHPITALNI, M. (2011) Assembly system design and operations for product variety. CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 60, n. 2, p. 715–733, jan., 2011.

J. WILL M. BERTRAND, JAN C. FRANSOO, (2002) "Operations management research methodologies using quantitative modeling", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22 Iss: 2, pp.241 – 264

POPPER K. 2008 Busca Inacabada (autobiografia intelectual). Lisboa: Esfera do Caos

KELLERT, H., 1993. In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems, University of Chicago Press.

KOTABE, M.; PARENTE, R. e MURRAY, J. Y. Antecedents and Outcomes of Modular Production in the Brazilian Automobile Industry: A Grounded Theory. *Journal of International Business Studies*, v. 38, p. 84-106, 2007.

KÖCHE, J. C. 2002. Fundamentos de metodologia científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 20.ed. Petrópolis: Vozes.

LANCASTER, K., 1990. The economics of product variety: A survey. *Marketing Science*, 9(3), pp.189–206.

LAKATOS, Eva Maria y MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. Metodologia científica. 4.ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2004.

MACDUFFIE, J.P, SETHURAMAN, K, FISCHER, M. Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from International Automotive Assembly Plant Study. v. 42, n. 3, p. 350-369. Management Science, 1996.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações - 2ª Ed. 2011

KAHN, B.E. & MORALES, A.C., 2001. Choosing Variety. In S. J. Hoch, H. C. Kunreuther, & R. E. Gunther, eds. *Wharton on Making Decisions*. New York: John Wiley & Sons, Inc., pp. 63–77.

PINE, II BJ (1993) Mass customization: The new frontier in business competition. HBS, Cambridge, MA, USA.

- PORTER, M. E. (1980) *Competitive Strategy*, Free Press, New York.
- QUELCH, J.A. & KENNY, D., 1994. Extend profits, not product lines. *Harvard Business Review*, 72(5), pp.153–160.
- REKIEK, B., de LIT, P. e DELCHAMBRE, A. 2002 Hybrid assembly line design and user's preferences. *International Journal of Production Research*, v.40, n.5, p.1095-1111, 2002.
- SHAH, R. , WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, v. 25, n. 4, p. 785–805, 2007.Review. 1994
- SHAMSUZZOHA, A. H. M. e HELO, P. T. 2010 Modular Product Architecture: The Role of Information Exchange for Customization. *Rapid Modelling and Quick Response*, 195–212, 2010.
- SCHUH, G., KLOCKE, F., BRECHER, C., SCHMITT, R. (2007): *Excellence in Production*, Aachen: Apprimus-Verlag.
- SILVA, G, G. M. P.; TUBINO, D. F.; SEIBEL, S. Linhas de montagem: revisão da literatura e oportunidades para pesquisas futuras. *Production Journal*, v.25, n.1, p.170-182, 2015.
- SIVADASAN, S., EFSTATHIOU, J., FRIZELLE, G., SHIRAZI, A. & CALINESCU, A. 2002. A information theoretic methodology for measuring operational complexity of Supplier–customer systems. *Int. J. Oper. Prod. Manage.* 22, 80–202. (doi:10.1108/01443570210412088)
- SMITH, S., SMITH, G. C.; JIAO, R.; CHU, C. H. 2013 Mass customization in the product life cycle. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 24, p. 877-885, 2013.
- STOOP P. P. M., WIRES V.C.S. (1996). The complexity of scheduling in practice. *Int J Opns & Prod Mgmt* 16(10): 37-53.
- THOMPSON, D.V., HAMILTON, R.W., RUST, R.T., 2005. Feature fatigue: when product capabilities become too much of a good thing. *Journal of Marketing Research* 42 (November), 431–442.
- ULRICH, K.T., 2006. *Design: Creation of Artifacts in Society*, Pontifica Press.
- WHEELWRIGHT, S. C.; BOWEN, H. K. The challenge of manufacturing advantage. *Production and operations management*, n. 1, p. 59-77, 1996.
- WIENDAHL HP, SCHOLTISSEK P (1994) Management and Control of Complexity in Manufacturing. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 43(2):533–540.
- WILDING, R (1998) The supply chain complexity Triangle *International Journal of Physical: Distribution & Logistics Management*, Vol. 28 No. 8, p. 599-616.

XIA, N., RAJAGOPALAN, S., 2009. Standard vs. custom products: variety, lead time, and price competition. *Marketing Science* 28 (5), 887-900.

ZHU X, HU SJ, KOREN Y, MARIN SP (2008) Modeling of Manufacturing Complexity in Mixed-Model Assembly Lines. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 130(5): 051013.

ANEXO A

MAN Latin America



Resende, 18 de maio de 2016.

Referência: Tese de Mestrado Profissional UNESP – Mateus Lemos Simon

Prezados Professores Valerio Salomon e Jorge Muniz,

Fazemo-nos da presente para compartilhar os expressivos resultados obtidos pela MAN Latin America com a pesquisa de Mestrado do colaborador e aluno Mateus Lemos Simon, realizada durante 2015 e 2016 pela UNESP.

Neste período, Mateus conduziu trabalhos internos focados na redução e prevenção da Complexidade, bem como na redução de seus impactos na eficiência operacional, tema da Tese de conclusão de curso. Aproveitamos também para agradecer o apoio da UNESP aos alunos da MAN Latin America durante o Mestrado Profissional.

Ações / Projetos	Atuação	Área	Impacto
Variant Tree	Prevenção	Todas	Alto
Redução Cores	Redução	Todas	Médio
Componentes sem demanda	Redução	Todas	Médio
Smart Feeding	Mitigar Impactos	Logística / Produção	Médio
Pré-sequenciamento	Mitigar Impactos	Logística / Produção	Médio

Atenciosamente,

Marcelo Rezende Peixoto
MAN Latin America
Gerente de Logística / Sponsor da Tese

Hugo Pinto de Souza Júnior
MAN Latin America
Supervisor de RH / Treinamentos

Adilson Domingos Dezoto
MAN Latin America
Vice-Presidente de Produção & Logística

Mauro Ekman Simões
MAN Latin America
Gerente de Eng. de Pré-desenvolvimento

MAN Latin America Indústria e
Comércio de Veículos Ltda.

Conjunto Industrial Resende
Rua: Engº Alan da Costa Batista, 100
27511-970 - Resende - RJ
Fone: (24) 3381-1081

Unidade Carnaubearas
Rua das Carnaubearas, 168
1º, 6º, 7º e 10º andares
04343-080 - São Paulo - SP
Fone: (11) 5013-5537

Unidade Jabaquara
Rua Volkswagen, 291
7º, 8º e 9º andares

Unidade Vinhedo
Av. Das Indústrias, s/nº 1º andar
Lado direito
13280-000 - Vinhedo - SP
Fone: (19) 3826-8119

Escritório Regional Recife
Rua Padre Carapuceiro, 733
10º andar Conjunto 1001

Escritório Regional Rio de Janeiro
Rua Lauro Mueller, 116 14º andar
Sala 1405 - Torre do Rio Sul
22290-160 - Rio de Janeiro - RJ
Fone: (21) 3873-7490

Escritório Regional Porto Alegre
Rua Sete de Setembro, 730
14º andar
91110-190 - Porto Alegre - RS