

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Francisco Perazolli Pereira Souza

Título: Estudo da influência da pandemia de COVID-19 em uma empresa do setor automobilístico, utilizando o método *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos.

São Carlos

2021



Francisco Perazolli Pereira Souza

Título: Estudo da influência da pandemia de COVID-19 em uma empresa do setor automobilístico, utilizando o método *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Espôsto

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

P719e Perazolli Pereira Souza, Francisco  
Estudo da influência da pandemia de COVID-19 em uma empresa do setor automobilístico, utilizando o método fuzzy para caracterização de cadeias de suprimentos / Francisco Perazolli Pereira Souza; orientador Kleber Francisco Espôsto. São Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.

1. Gestão da cadeia de suprimentos. 2. Segmentação da cadeia de suprimentos. 3. Sistema de Inferência Fuzzy. 4. Pandemia de COVID-19. I. Título.



## FOLHA DE APROVAÇÃO

<b>Candidato:</b> Francisco Perazolli Pereira Souza
<b>Título do TCC:</b> Estudo da influência da pandemia de COVID-19 em uma empresa do setor automobilístico que pratica importação, utilizando o método <i>fuzzy</i> para caracterização de cadeias de suprimentos
<b>Data de defesa:</b> 08/12/2021

<b>Comissão Julgadora</b>	<b>Resultado</b>
Professor Doutor Kleber Francisco Espôsto (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Marcel Andreotti Musetti	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Substituto Rafael Alves Ferreira	Aprovado
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Engenharia de Produção	

Presidente da Banca: **Professor Doutor Kleber Francisco Espôsto**



## DEDICATÓRIA

*À minha família, que me  
acompanhou e me apoiou ao longo  
desta caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Kleber Francisco Espôsto, que me guiou na escrita deste trabalho e que muito me ensinou desde o início da graduação, contribuindo para o meu crescimento científico.

Aos meus pais, Soraia e Luis Francisco, que me apoiaram nesses anos acadêmicos e em todos os outros momentos importantes de minha vida.



## EPÍGRAFE

“Nenhuma sociedade que esquece a arte de questionar pode esperar encontrar respostas para os problemas que a afligem.”

Zygmunt Bauman

## RESUMO

SOUZA, F. **Estudo da influência da pandemia de COVID-19 em uma empresa do setor automobilístico, utilizando o método *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos.** 2021. 73 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Diferentes comportamentos de clientes exigem diferentes estratégias para as cadeias de suprimentos. Da mesma forma, períodos de crise demandam estratégias para lidar com incertezas e para garantir resiliência às cadeias. A pandemia de COVID-19, mais especificamente, destacou a vulnerabilidade das cadeias de suprimento globais, gerando um questionamento sobre o futuro das mesmas. Neste sentido, é primordial para as organizações garantirem o entendimento acerca das estratégias atuais de suas cadeias existentes, de forma a diferenciá-las de maneira clara e objetiva, aperfeiçoando o processo de tomada de decisão. Porém, a natureza complexa e dinâmica das relações entre os diferentes atores das cadeias e o caráter qualitativo das classificações existentes na literatura, implicam em imprecisões no processo. A teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma alternativa para contornar essas imprecisões. A partir dessas motivações, foram selecionadas duas linhas de produtos de uma empresa do ramo automobilístico, com o intuito de aplicar um modelo quantitativo que incorpora: a teoria *fuzzy*, a classificação de cadeias proposta pela escola do alinhamento dinâmico, e as variáveis DWV<sup>3</sup> propostas pela escola enxuta-ágil; a fim de caracterizar as cadeias antes e durante a pandemia. O objetivo deste trabalho é entender como a pandemia afetou esses produtos e verificar se o modelo quantitativo utilizado é adequado para o problema de estudo. A metodologia se baseou em três partes principais: levantamento conceitual acerca dos temas; levantamento dos dados da empresa; e construção e adaptação do modelo quantitativo. Como resultados, obteve-se a classificação das cadeias para as linhas de produtos em ambos os períodos analisados, o que possibilitou discussões acerca das características das mesmas. Pode-se ver que, para a linha A, houve um aumento significativo na participação de cadeias do tipo campanha, consequência do aumento dos *lead times* e da variabilidade da demanda; já para a linha B, houve uma redução da participação de cadeias enxutas, consequência do aumento da variabilidade da demanda potencializada pela pandemia. Ademais, o modelo quantitativo se mostrou válido para o estudo, gerando resultados claros e coerentes com a realidade.

Palavras-chave: Gestão da cadeia de suprimentos. Segmentação da cadeia de suprimentos. Sistema de Inferência Fuzzy. Pandemia de COVID-19.

## ABSTRACT

SOUZA, F. **Study of the influence of the COVID-19 pandemic on a company in the automotive sector, using the fuzzy method to characterize supply chains.** 2021. 73 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Different customer behaviors require different supply chain strategies. Likewise, periods of crisis demand strategies to deal with various types of uncertainties and to guarantee resilience to the chains. The COVID-19 pandemic, more specifically, highlighted the vulnerability of global supply chains, raising questions about their future. In this sense, it is essential for organizations to ensure an understanding of the current strategies of the existing supply chains, in order to differentiate them clearly and objectively, improving the decision-making process. However, the complex and dynamic nature of the relationships between the different actors in the supply chain and the qualitative character of existing classifications in the literature imply inaccuracies in the process. Fuzzy set theory is an alternative to overcome these inaccuracies. Based on these motivations, two product lines were selected from a company in the automotive sector, in order to apply a quantitative model existing in the literature, which incorporates: the fuzzy theory, the classification of supply chains proposed by the school of dynamic alignment, and the DWV<sup>3</sup> variables proposed by the lean-agile school; in order to characterize supply chains before and during the COVID-19 pandemic. The main goal of this work is to understand how the pandemic affected these product lines and verifying whether the quantitative model used is suitable for the study problem. The methodology was based on three main parts: a conceptual survey about the themes; survey and initial analysis of company data; construction and adaptation of the quantitative model. As a result, the classification of supply chains for the product lines in both periods analyzed was obtained, which allowed discussions about the characteristics of these products. It can be seen that, regarding product line A, there was a significant increase in the participation of campaign-type chains, a consequence of the increase in lead times and demand variability; and regarding product line B, there was a reduction in the participation of lean chains, a consequence of the increase in demand variability caused by the pandemic. Furthermore, the quantitative model proved to be valid for the study, generating clear and consistent results with reality.

Keywords: Supply chain management. Supply chain segmentation. Fuzzy Inference System. COVID-19 pandemic.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação do comércio mundial de bens e serviços por trimestre .....	24
Figura 2 - Evolução da integração das atividades na cadeia de suprimentos .....	28
Figura 3 - Distribuição de Pareto para estratégia enxuta e ágil .....	31
Figura 4 - Ponto de desacoplamento e estoque estratégico .....	32
Figura 5 - Separação entre demanda total e surto de demanda .....	32
Figura 6 - Framework integrado para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos.....	35
Figura 7 - Elementos do modelo de alinhamento dinâmico .....	37
Figura 8 - Características gerais das quatro forças comportamentais dominantes .....	37
Figura 9 - Os cinco comportamentos de compra mais comumente observados.....	39
Figura 10 - Os cinco tipos genéricos de cadeias de suprimentos na escola de alinhamento dinâmico .....	40
Figura 11 - Tipos de comportamento de demanda e tipos de cadeia relacionados .....	41
Figura 12 - Representação gráfica da função de pertinência para a demanda de um produto considerando a lógica Crisp.....	43
Figura 13 - Representação gráfica da função de pertinência para a demanda de um produto considerando a lógica fuzzy .....	45
Figura 14 - Representação gráfica da variável linguística Idade.....	46
Figura 15 - Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) .....	50
Figura 16 - Representação visual da base de regras .....	59
Figura 17 - Sistema de inferência desenvolvido no software FuzzyTech .....	62
Figura 18 - Função de pertinência para a variável volume de vendas.....	63
Figura 19 - Função de pertinência para a variável lead time médio.....	63
Figura 20 - Função de pertinência para a variável variabilidade.....	63
Figura 21 - Proporção dos tipos de cadeia para a linha de produtos A: Pré-Pandemia (à esquerda); Pandemia (à direita) .....	64
Figura 22 - Proporção dos tipos de cadeia para a linha de produtos B: Pré-Pandemia (à esquerda); Pandemia (à direita) .....	66



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre cadeias enxutas e cadeias ágeis .....	29
Tabela 2 - Exemplo de regras de inferência .....	51
Tabela 3 - Características da cadeia de suprimentos colaborativa .....	53
Tabela 4 - Características da cadeia de suprimentos enxuta .....	54
Tabela 5 - Características da cadeia de suprimentos ágil .....	54
Tabela 6 - Características da cadeia de suprimentos campanha .....	55
Tabela 7 - Características da cadeia de suprimentos totalmente flexível .....	55
Tabela 8 - Configurações do procedimento de inferência .....	57
Tabela 9 - Base de regras do sistema de inferência .....	58
Tabela 10 - Características das linhas de produtos selecionadas .....	61



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COA	–	<i>Center Of Area</i>
COS	–	<i>Center Of Sums</i>
COG	–	<i>Center Of Gravity</i>
ETO	–	<i>Engineering To Order</i>
FLC	–	<i>Fuzzy Logic Control</i>
MOM	–	<i>Mean Of Maximum</i>
MTO	–	<i>Make To Order</i>
MTS	–	<i>Make To Stock</i>
OMS	–	Organização Mundial da Saúde
SCM	–	<i>Supply Chain Management</i>
SIF	–	Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Contextualização .....	23
1.2 Objetivos.....	25
1.3 Justificativas .....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	27
2.1 Gestão da Cadeia de Suprimentos .....	27
2.1.1 Escola enxuta-ágil de gestão da cadeia de suprimentos .....	29
2.1.2 Escola do alinhamento dinâmico .....	36
2.2 Lógica <i>Fuzzy</i> .....	42
2.2.1 Conjuntos Clássicos.....	42
2.2.2 Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	44
2.2.3 Variáveis Linguísticas .....	45
2.2.4 Operações com conjuntos <i>fuzzy</i> .....	47
2.2.5 Relações <i>Fuzzy</i> .....	48
2.2.6 Composições de Relações <i>Fuzzy</i> .....	49
2.2.7 Sistemas de Inferência <i>Fuzzy</i> (SIF) .....	49
2.2.8 Modelagem das variáveis de controle .....	50
2.2.9 Regras de Inferência .....	51
2.2.10 Avaliação das Regras.....	52
2.2.11 Agregação.....	52
2.2.12 <i>Defuzzificação</i> .....	52
2.3 Modelo quantitativo utilizado.....	53
2.3.1 Variáveis de entrada e parametrização do modelo .....	55
2.3.2 Variável de saída .....	56
2.3.3 Procedimento de Inferência .....	56
2.3.4 Base de Regras do Sistema de Inferência.....	57
3 MÉTODO.....	60

3.1 Tipo de Pesquisa.....	60
3.2 Levantamento conceitual.....	60
3.3 Levantamento e análise dos dados .....	61
3.4 Construção do modelo quantitativo.....	62
4 APLICAÇÃO DO MODELO E DISCUSSÕES .....	64
4.1 Análise geral da linha de produtos A.....	64
4.2 Análise comparativa entre períodos da linha de produtos A.....	65
4.3 Análise geral da linha de produtos B.....	66
4.4 Análise comparativa entre períodos da linha de produtos B .....	67
5 CONCLUSÕES .....	69
REFERÊNCIAS .....	71



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Especialmente a partir de 1980, a produção mundial foi sendo mais intensamente estruturada no que veio a ser conhecida como cadeias de suprimento globais, ou cadeias de valor globais, nas quais matérias-primas e bens intermediários são frequentemente enviados pelo mundo várias vezes antes dos produtos finais serem exportados para os consumidores finais ao redor do globo (FREE; HECIMOVIC, 2021).

Na opinião dos mesmos autores, a crise causada pela pandemia de COVID-19 destacou a vulnerabilidade de cadeias de suprimento globais e levou a um questionamento generalizado de seu futuro. Ainda, a preocupação com a autossuficiência em relação a equipamentos médicos, por sua vez, se espalhou para preocupações mais amplas sobre a dependência de fornecedores internacionais (IBIS World, 2020).

Em contraste com desastres naturais ou industriais geograficamente centrados, uma pandemia não se limita a uma região específica e a um período de tempo específico. Diferentes componentes da cadeia de suprimentos são afetados sequencialmente ou simultaneamente, sendo que centros de distribuição, manufatura, logística e mercados podem ficar paralisados de maneira sobreposta (INANOV; DAS, 2020).

O gráfico da Figura 1 representa a variação do comércio mundial de bens e serviços. A partir da mesma, identifica-se uma queda brusca do comércio mundial a partir do primeiro semestre de 2020, quando os casos de COVID-19 aumentaram rapidamente e se espalharam por todo o globo, sendo que em 11 de março de 2020 a situação foi caracterizada pela OMS como uma pandemia (OPAS/OMS, 2021).

Figura 1 - Variação do comércio mundial de bens e serviços por trimestre



Fonte: UNCTAD (2021) Global Trade Update. Maio 2021

As perturbações econômicas ocasionadas pela COVID-19 afetaram alguns setores significativamente mais do que outros. No segundo trimestre de 2020, o valor do comércio global nos setores automotivo e de energia foi cerca de metade do que era no segundo trimestre de 2019, por exemplo (UNCTAD, 2020).

Free e Hecimovic (2021) apontam três principais impulsionadores da “fragilidade” das cadeias de suprimento globais a nível organizacional. O primeiro deles se refere à consolidação de centros de produção, o que gerou uma abundância de componentes essenciais da cadeia, reduzindo o custo total. No entanto, ao mesmo tempo gerou falta de capacidade em outras partes do mundo, desencadeando uma série de problemas de abastecimento em tempos de crise. Segundo Handfield, Graham e Burns (2020), organizações que possuem cadeias de suprimentos mais compactadas e responsivas estão desfrutando de um benefício significativo durante a pandemia de COVID-19 e não estão mais sendo reféns dos impactos das decisões políticas de governos de outro país.

O segundo impulsionador se refere à redução de níveis de estoque, o que resulta em aumento de eficiência e redução do custo total, porém, também expõe as cadeias a choques inesperados e escassez de abastecimento, minando a resiliência dessas cadeias.

O terceiro impulsionador destacado pelos autores se refere à falta de transparência nas cadeias em decorrência do aumento da complexidade das mesmas, o que limita a capacidade de identificar ameaças à produção e à capacidade e, conseqüentemente, dificulta o gerenciamento de crises, como por exemplo a pandemia de COVID-19.

Diante de tal contexto, é fundamental que os processos de tomada de decisão dentro das empresas sejam cada vez mais aprimorados para lidar com situações de crise e identificar, de maneira clara, aspectos importantes da cadeia de suprimentos.

Porém, a natureza complexa e dinâmica das relações entre os diferentes atores das cadeias de suprimentos implica em um importante grau de incerteza nas decisões de planejamento das mesmas (PEIDRO et al., 2009). Essas incertezas podem ser tratadas utilizando-se a teoria dos conjuntos *fuzzy*, por exemplo, a qual tem sido amplamente incorporada em processos de tomada de decisão em que há subjetividade (GANGA; CARPINETTI, 2011).

Visto esse contexto, este estudo pretende buscar respostas para a seguinte pergunta: Como um modelo quantitativo baseado no método *fuzzy* pode auxiliar análises e tomada de decisão no que tange a estratégias de cadeias de suprimentos, por meio da caracterização das mesmas? A seção seguinte apresenta os objetivos deste trabalho.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar como a pandemia de COVID-19 afetou linhas de produtos selecionadas de uma empresa, por meio de um modelo quantitativo baseado no método *fuzzy* que faz uma caracterização de cadeias de suprimentos. Paralelamente, este estudo poderá também avaliar se o modelo utilizado foi adequado para esse fim de identificação de impacto na categorização de cadeias frente aos impactos causados por um cenário de pandemia, levantando possíveis pontos de melhoria.

## 1.3 Justificativas

O recente surto da pandemia de COVID-19 gerou uma enorme mudança social e econômica, e também intensificou questionamentos sobre a sustentabilidade das cadeias globais (FREE; HECIMOVIC, 2021; INANOV; DAS, 2020). Diante de tal cenário, torna-se interessante analisar, utilizando-se um caso real de uma empresa, como cadeias de suprimentos globais foram impactadas no período de pandemia.

Ainda, considerando a complexidade e incertezas envolvidas nas cadeias de suprimento atuais, é importante que se firme uma análise que transforme dados quantitativos em informações qualitativas, a fim de tornar o processo de tomada de decisão mais claro e objetivo para os gestores das cadeias de suprimentos. Essa análise pode ser obtida empregando-se um

modelo quantitativo baseado na teoria de conjuntos *fuzzy*, a qual se aproxima mais do processo do pensamento humano (ZADEH, 1965).

Além disso, é importante a avaliação da performance de um modelo já existente na literatura quando aplicado ao contexto do estudo. Segundo Neto e Pureza (2018), a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e apoiar o processo de tomada de decisão. Dessa forma, o estudo contribui para o conhecimento acerca do modelo desenvolvido por Ferreira (2017) na medida em que o ambiente deste estudo incorpora o aspecto da importação e analisa um período incomum de crise, tornando-o consideravelmente diferente do considerado pelo autor.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Gestão da Cadeia de Suprimentos

No início da década de 1980, o termo *Supply Chain Management* (SCM) foi introduzido para responder à competição acirrada entre empresas, visto que ao longo do tempo, um número grande de empresas percebeu a significância de integrarem suas operações em processos chave dentro de uma cadeia de suprimentos em vez de gerenciá-los separadamente (CHRISTOPHER, 2011; OLIVER; WEBER, 1982 apud GOVINDAN; FATTAHI; KEYVANSHOKOOH, 2017).

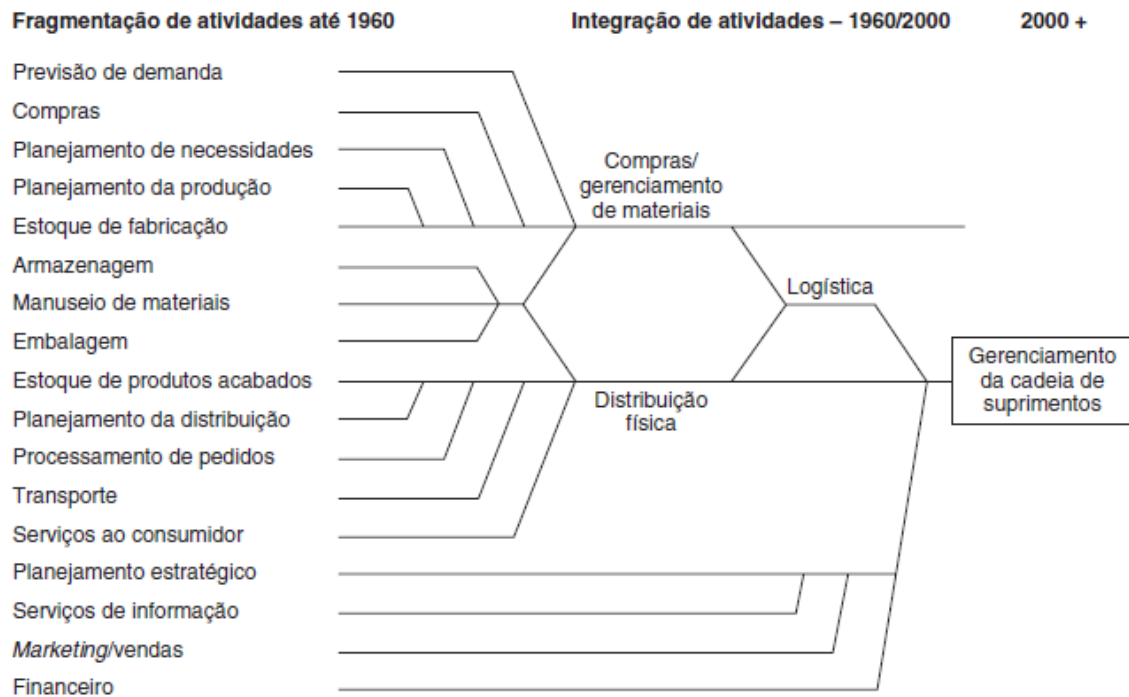
Embora SCM seja um termo amplamente disseminado na literatura, Stock e Boyer (2009) argumentam que a definição do termo varia muito dependendo do escopo e da perspectiva do autor. Um estudo conduzido pelos autores examinou 173 definições de *Supply Chain Management* (SCM) presentes na literatura com o intuito de determinar componentes importantes de uma definição integrada do termo. Combinando o pensamento coletivo e a sabedoria de vários indivíduos com perspectivas e pontos de vista diferentes, os autores propuseram a seguinte definição para SCM:

A gestão de uma rede de relacionamentos dentro de uma empresa e entre organizações interdependentes e unidades de negócios consistindo em fornecedores de materiais, compras, instalações de produção, logística, marketing e sistemas relacionados que facilitam o fluxo direto e reverso de materiais, serviços, finanças e informações do produtor original ao cliente final com os benefícios de agregar valor, maximizar a lucratividade por meio de eficiências e alcançar a satisfação do cliente (STOCK; BOYER, 2009, p.706).

A partir desta definição, conclui-se que se as cadeias de produção forem geridas de maneira adequada, o todo pode ser maior do que a soma das suas partes, visto que o foco da SCM está na cooperação e confiança (CHRISTOPHER, 2011).

Dessa forma, além da integração entre os atores dentro da cadeia de suprimentos, com o passar do tempo também se intensificou a integração entre as atividades responsáveis por agregar valor ao produto ou serviço final (BALLOU, 2007).

Figura 2 - Evolução da integração das atividades na cadeia de suprimentos



Fonte: Ballou (2007)

Considerando que os esforços das partes da cadeia são principalmente direcionados para o objetivo final de entregar valor ao cliente, Christopher (2011) argumenta que o termo “*Supply Chain Management*” poderia ser substituído por “*Demand Network Management*”, para refletir o fato de que a cadeia deveria ser direcionada pelo mercado, e não pelos fornecedores, sendo que o termo “*Network*” representaria os múltiplos fornecedores e os múltiplos clientes que estão inseridos e conectados no sistema total.

Para Godsell et al. (2010), se existem grupos de clientes com requisitos de serviço diferentes, então faz sentido tentar corresponder às expectativas de maneira ideal por meio de alguma forma de estratégia de cadeia de suprimentos diferenciada. Ainda, segundo os autores, como os produtos também possuem características diferentes, o desafio é desenvolver uma cadeia de suprimentos que combina as considerações e necessidades do segmento de mercado e as características do produto, a fim de se obter uma melhor estratégia de gerenciamento.

No sentido de identificar maneiras mais adequadas de gerenciamento das cadeias de suprimentos, surgem na literatura formas de se segmentar, ou diferenciar, tipos de cadeia. As duas principais escolas nesse quesito, de acordo com Godsell et al. (2010), são: escola enxuta-ágil e escola do alinhamento dinâmico. Essas escolas são explicadas com mais detalhes nos tópicos 2.1.1 e 2.1.2.

### 2.1.1 Escola enxuta-ágil de gestão da cadeia de suprimentos

A primeira relação explícita entre processos de marketing e manufatura foi feito por Hill (1985) com a introdução do conceito de *order winners/order qualifiers* (OW/OQ), como forma de conectar as estratégias dessas duas áreas (GODSELL et al., 2010). De acordo com os autores, a evolução desses conceitos levou ao desenvolvimento da escola enxuta-ágil da estratégia de segmentação da cadeia de suprimentos.

Tabela 1 - Comparação entre cadeias enxutas e cadeias ágeis

<b>Atributos distintivos</b>	<b>Cadeia enxuta</b>	<b>Cadeia ágil</b>
Exemplo de produto típico	Commodities	Artigos de moda
Tipo de demanda	Previsível	Volátil
Variedade de produtos	Baixa	Alta
Ciclo de vida do produto	Longo	Curto
Principais influenciadores	Custo	Disponibilidade
Margem de lucro	Baixa	Alta
Custos dominantes	Custos físicos	Comercialização
Penalidade de falta de estoque	Contratual de longo prazo	Imediato e volátil
Política de compra	Comprar bens	Atribuir capacidade
Enriquecimento de informação	Altamente desejável	Obrigatório
Mecanismo de previsão	Algorítmico	Consultivo

Fonte: Christopher (2002)

Algumas das principais distinções entre as cadeias enxutas e ágeis estão elencadas na Tabela 1, e explicações aprofundadas de cada tipo de cadeia são dadas nos tópicos seguintes.

De maneira similar, Fisher (1997) separa os produtos em dois tipos: funcionais e inovadores; e os relaciona com dois tipos de cadeias de suprimentos: eficientes e responsivas. Produtos funcionais, por exemplo, são geridos mais adequadamente por meio de uma cadeia de suprimentos eficiente, que pode ser entendida como uma cadeia enxuta. Em contrapartida, produtos inovadores se adequam melhor a uma configuração de cadeia responsiva, a qual possui as características de uma cadeia ágil.

#### 2.1.1.1 Cadeias Enxutas

O foco da ideia de produção enxuta, ou *lean management*, é a eliminação de desperdícios, ou *muda*, a fim de que todas as atividades ao longo da cadeia de suprimentos agreguem valor (WOMACK; JONES, 1996). Essa filosofia busca minimizar o estoque de

componentes e trabalho em andamento, e implementar um ambiente "*just-in-time*" sempre que possível (CHRISTOPHER, 2011).

O termo “puxar”, empregado frequentemente na abordagem enxuta, caracteriza bem o ambiente *just-in-time*, na medida em que sugere que nada é feito até que seja necessário para o cliente (WOMACK; JONES, 1996).

As práticas do pensamento enxuto foram pioneiramente aplicadas na indústria automobilística japonesa dos anos 1970 (WOMACK; JONES, 1996). Como este era um contexto caracterizado pela fabricação em volume de produtos relativamente padrão (ou seja, baixos níveis de variedade) com demanda relativamente previsível, a experiência tem mostrado que as práticas enxutas funcionam bem (CHRISTOPHER, 2011).

Embora o *lean* possa ser um elemento de "agilidade" em certas circunstâncias, por si só não permitirá que a organização atenda às necessidades precisas do cliente mais rapidamente. Em contextos em que a demanda é volátil e a necessidade do cliente por variedade é alta, é necessário um nível muito mais alto de agilidade (CHRISTOPHER; TOWILL, 2001).

#### 2.1.1.2 Cadeias Ágeis

Agilidade implica a habilidade da cadeia de suprimentos a reagir rapidamente às mudanças na demanda, sejam elas de volume, mercado ou mix de produção (CHRISTOPHER; TOWILL, 2002).

A maioria das organizações é orientada por previsões (*forecast-driven*), as quais são oriundas de análises de bases de vendas e informações que não refletem necessariamente a demanda real. Cadeias de suprimentos ágeis são orientadas pela demanda (*demand-driven*), ou seja, devem ser capazes de ler a demanda real e reagir à mesma, capacidade que foi potencializada nas últimas décadas devido aos avanços da tecnologia da informação (CHRISTOPHER, 2011).

E embora as organizações possam ter processos internos que são capazes de uma resposta rápida, sua agilidade ainda será limitada se enfrentarem longos prazos de reposição de fornecedores, por exemplo (CHRISTOPHER, 2011), evidenciando a importância de se buscar agilidade para todas as partes da cadeia.

### 2.1.1.3 Enxuta-Ágil

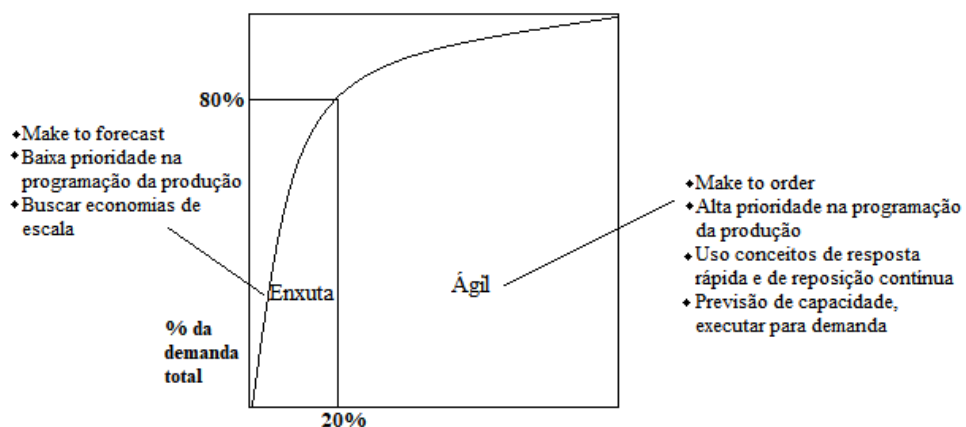
Cadeias ágeis e enxutas não são mutualmente exclusivas, mas são abordagens que podem se complementar e, em muitos casos, podem formar uma estratégia híbrida utilizando-se aspectos apropriados de cada abordagem (CHRISTOPHER; TOWILL, 2002; AITKEN, 2000).

Christopher e Towill (2002) explicam três estratégias para analisar a integração dos conceitos de cadeia enxuta e cadeia ágil em uma mesma cadeia de suprimentos. São elas:

#### a) Abordagem da curva de Pareto

Tipicamente, em muitos negócios, em torno de 80% do volume total de vendas é gerado apenas por 20% do total dos produtos. Neste contexto, a maneira de gerir esses 20% do total de produtos deveria ser consideravelmente diferente dos 80% restantes. Por exemplo, pode ser identificado que os 20% dos produtos responsáveis pelo maior volume possuem uma demanda mais previsível, sendo mais vantajosa a aplicação de conceitos enxutos, enquanto que os 80% dos produtos são caracterizados por uma demanda altamente imprevisível, sendo mais adequada a aplicação de conceitos ágeis.

Figura 3 - Distribuição de Pareto para estratégia enxuta e ágil

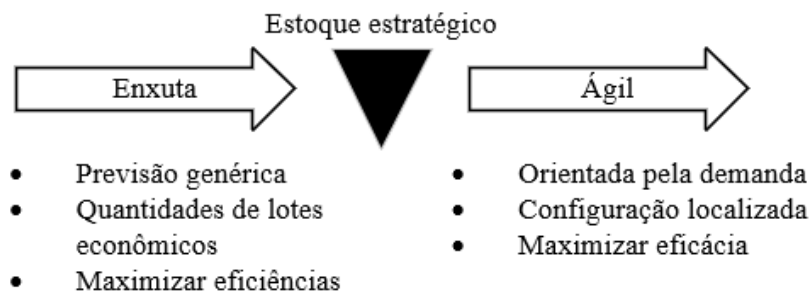


Fonte: Adaptado de Christopher e Towill (2002)

#### b) A abordagem do ponto de desacoplamento:

A ideia desta abordagem é manter o estoque em uma forma genérica ou modular e apenas concluir a montagem ou configuração final quando a necessidade do cliente for realmente conhecida.

Figura 4 - Ponto de desacoplamento e estoque estratégico



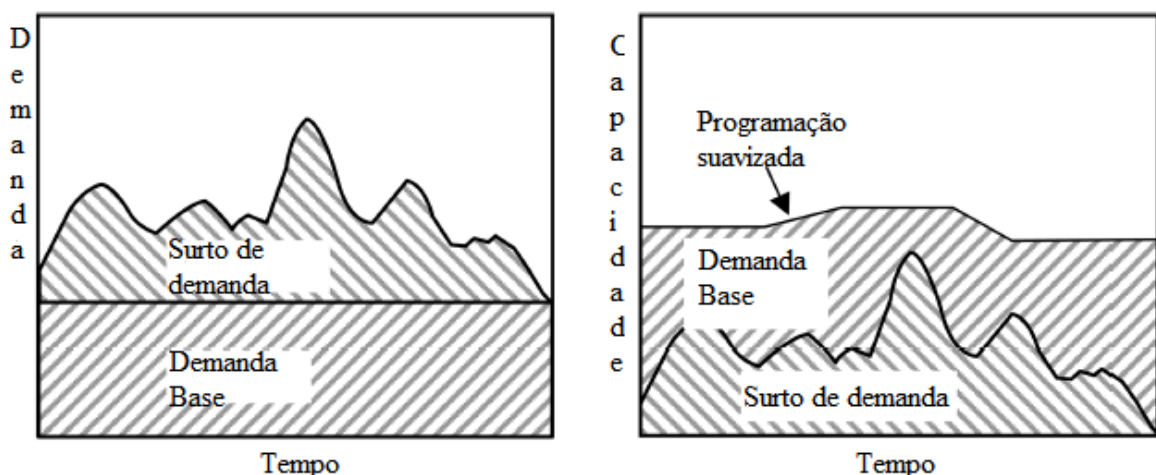
Fonte: Adaptado de Christopher e Towill (2002)

Com essa configuração, mantém-se uma estratégia enxuta antes do ponto de desacoplamento e uma estratégia ágil depois do mesmo, como mostra a Figura 4.

c) Separação entre demanda normal e surto de demanda

A Figura 5 exemplifica a distinção entre a demanda normal e uma variação atípica na demanda (surto), sendo que a capacidade de produção pode ser suavizada por meio de uma troca inteligente da produção “base”. A demanda normal, ou base, pode ser atendida utilizando uma estratégia enxuta para obtenção de economia de escala, enquanto que o surto de demanda deve ser tratado com procedimentos ágeis.

Figura 5 - Separação entre demanda total e surto de demanda



Fonte: Adaptado de Christopher e Towill (2002)

#### 2.1.1.4 Segmentação da cadeia de suprimentos com base nas variáveis DWV<sup>3</sup>

Utilizando as categorias e classificações apresentadas na Tabela 1, torna-se simples inferir que produtos tecnologicamente avançados, inovadores, e recentemente lançados que possuem alta variabilidade de demanda, são atribuídos a cadeias de produção ágeis, enquanto que produtos menos complexos que satisfazem necessidades básicas dos clientes, tradicionalmente possuem uma demanda altamente previsível e, portanto, podem ser geridos por meio de uma cadeia de suprimentos enxuta (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

Ademais, existem produtos que podem ser atribuídos a cadeias híbridas enxutas-ágeis, sendo essencial as organizações identificarem essas oportunidades, por meio de análises como as destacadas no tópico 2.1.1.3, a fim de obterem melhores resultados para a cadeia de suprimentos como um todo (CHRISTOPHER; TOWILL, 2002).

O modelo DWV<sup>3</sup> é uma contribuição importante da escola enxuta-ágil no sentido de atribuir produtos a cadeias de suprimento adequadas (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012). A sigla representa os critérios: duração do ciclo de vida do produto (*duration of product life cycle*); tempo de entrega (*window for delivery*); volume (*volume*); variabilidade da demanda (*variability*); e variedade (*variety*). Cada um deles é apresentado em mais detalhes a seguir.

- Duração do ciclo de vida do produto:

De acordo com Christopher (2006), produtos inovadores tendem a ter um ciclo de vida curto, enquanto que produtos funcionais um ciclo de vida mais longo. Ainda, no que tange aos diferentes estágios do ciclo de vida, o tipo do produto possui um impacto significativo nas estratégias aplicadas a cada um desses estágios, como ocorre mais evidentemente em casos de produtos inovadores, nos quais a estratégia precisa ser adaptada aos estágios do ciclo de vida (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

Nos estágios de introdução e crescimento de um produto, por exemplo, os quais são caracterizados por incertezas em termos de demanda, agilidade é fundamental. Já nos demais estágios (maturidade, saturação e declínio), oportunidades de otimização podem ser buscadas por meio de estratégias híbridas/enxutas (CHILDERHOUSE; AITKEN; TOWILL, 2002).

- Tempo de entrega:

Tempo de entrega vem ganhando cada vez mais significância como vantagem competitiva, particularmente devido ao crescimento de cadeias globais (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

Embora este seja um critério importante na definição da estratégia, pode não ter muita significância se a demanda for altamente previsível, visto que o tempo de entrega pode ser incorporado aos cálculos a fim de se implementar uma estratégia enxuta eficiente, por exemplo (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

De maneira contrária, segundo os autores, se a demanda é altamente imprevisível, a complexidade e os riscos de incorporar o tempo de entrega nos cálculos aumentam, tornando a estratégia enxuta pouco viável e a estratégia ágil, por sua vez, mais adequada.

- Volume:

Produtos que são produzidos em grandes volumes são geralmente geridos por meio de estratégias enxutas, na medida em que eficiência em custo pode ser obtida mediante a efeitos de escala e eliminação de partes desnecessárias (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

A produção suave e puxada presente nos conceitos enxutos de produção pode não ser tão fácil de atingir para produtos que são fabricados em baixos volumes, sendo mais adequado, nesses casos, processos mais flexíveis e, conseqüentemente, a adoção de uma estratégia mais ágil (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

- Variedade:

Para atender demandas crescentes por customização e diferenciação de produtos, Hofmann, Beck e Füger (2012) explicam que abordagens enxutas-ágeis podem ser bastante relevantes, na medida em que conceitos como o ponto de desacoplamento (Figura 4) podem ser aplicados, o que significa produzir produtos padronizados até certo ponto, os quais servirão de base para vários produtos derivados ou customizados.

Resumidamente, uma grande variedade de produtos requer um alto nível de flexibilidade na cadeia de suprimentos (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

- Variabilidade:

Embora a variabilidade da demanda não seja apenas um efeito do tipo de produto, ambos os atributos, variabilidade e tipo do produto, são tratados como se fossem interconectados para razões de simplificação (CHRISTOPHER, 2006).

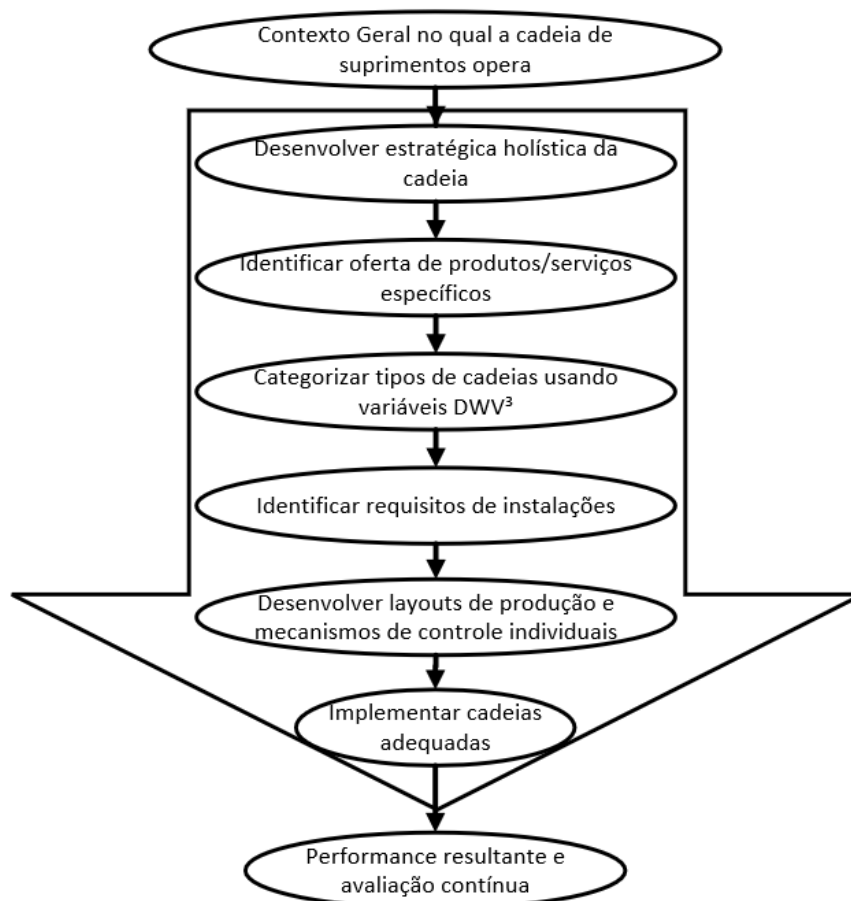
Neste contexto, produtos com demandas previsíveis podem ser gerenciados por meio de uma estratégia enxuta da cadeia de suprimentos, enquanto produtos com demandas imprevisíveis e altamente variáveis requerem uma organização mais flexível, ou seja, uma

cadeia de suprimentos ágil, sendo que estratégias híbridas também podem ser consideradas (HOFMANN; BECK; FÜGER, 2012).

Childerhouse, Aitken e Towill (2002) utilizaram as variáveis DWV<sup>3</sup> para categorizar produtos com características similares em *clusters*. O resultado obtido pelos autores com este estudo de caso foi a clara definição dos pré-requisitos para cada canal de demanda, assim como os objetivos específicos para maximizar a competitividade em cada segmento de mercado alvo.

O *framework* desenvolvido e seguido pelos autores Childerhouse, Aitken e Towill (2002) está representado na Figura 6, e pode ser observado que a etapa de categorização das cadeias de suprimentos utilizando as variáveis DWV<sup>3</sup> foi fundamental para a definição das estratégias adequadas para as cadeias.

Figura 6 - Framework integrado para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos



Adaptado de Childerhouse, Aitken e Towill (2002).

### 2.1.2 Escola do alinhamento dinâmico

A escola do alinhamento dinâmico, ou estratégico, possui suas raízes nos trabalhos de Chron (1991) e Gattorna et al. (1991), e, assim como a escola enxuta-ágil, também busca formalizar a relação entre as estratégias de produto de cadeia de suprimentos (GODSELL et al., 2010).

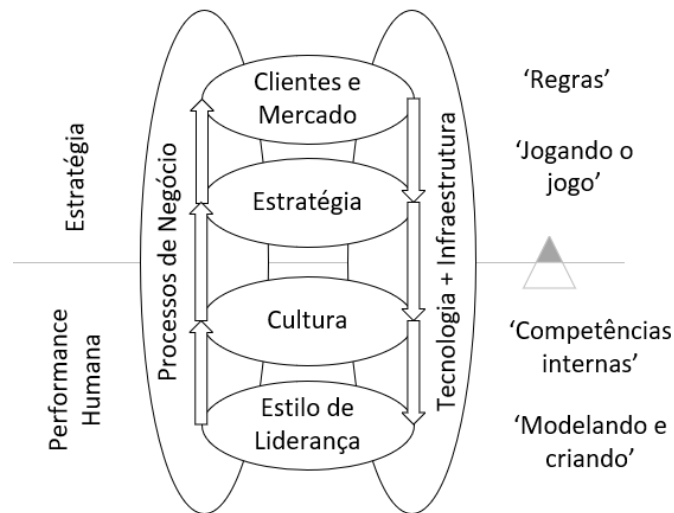
Gattorna (2015) explica que o modelo do alinhamento dinâmico é um avanço importante para o pensamento de gestão, projeto e operação de cadeias de suprimentos pois o mesmo:

[...] fornece um mapa e uma ferramenta para ajudá-lo a obter um desempenho superior em suas cadeias de suprimentos corporativas. É um mapa para ajudá-lo a navegar pela rede cada vez mais complexa de cadeias de suprimentos que existe hoje. E é uma ferramenta porque ajuda a identificar como alinhar cadeias de suprimentos específicas a comportamentos específicos do cliente. [...]Ele explica pela primeira vez como a ciência mais branda do comportamento humano pode ser integrada ao mundo mais tangível - e geralmente mais bem compreendido - da infraestrutura e da tecnologia (GATTORNA, 2015, p.33).

Para Gattorna (2015), o termo “dinâmico” captura a ideia de que as cadeias de suprimentos são como organismos vivos e estão em constante transformação, ao invés de serem estruturas mecânicas inalteráveis.

Uma contribuição importante da escola do alinhamento dinâmico foi considerar que mercado e estratégia estão diretamente relacionados com a cultura interna e com estilos de liderança dentro das empresas (GATTORNA, 2015), como representa o *framework* da Figura 7.

Figura 7 - Elementos do modelo de alinhamento dinâmico



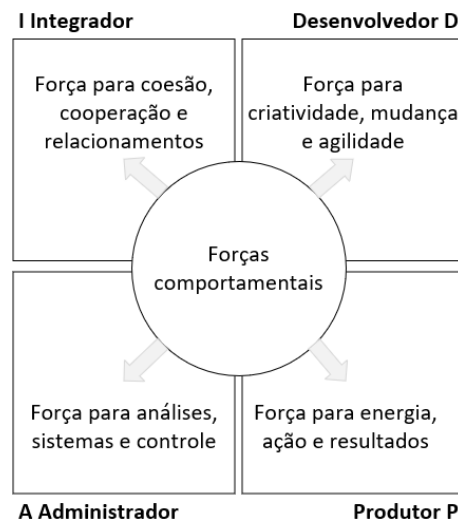
Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

Neste *framework*, a estratégia é a ponte que relaciona os ambientes operacionais internos e externos permanentemente, garantindo o dinamismo para toda a cadeia (GATTORNA, 2015).

Gattorna (2015) incorporou no cerne de sua teoria do alinhamento dinâmico a classificação P-A-D-I (Produtor, Administrador, Desenvolvedor e Integrador), desenvolvida por Adizes (1985), a qual descreve diferentes estilos de gerência.

Esses quatro tipos principais de comportamento ou "conjuntos lógicos" podem exibir uma tendência dominante, sendo que podem ser representados como dois pares de forças compensatórias (comportamentais), que estão sempre em tensão dinâmica e estão presentes em todas as interações humanas (GATTORNA, 2015), como ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Características gerais das quatro forças comportamentais dominantes



Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

As quatro forças comportamentais da classificação P-A-D-I se reúnem de maneiras diferentes para produzir 16 combinações possíveis, todas em equilíbrio dinâmico., sendo que cada combinação dominante possui um centro de gravidade distinto (GATTORNA, 2015).

Para o autor, o ponto de partida essencial para o alinhamento dinâmico de sucesso é uma compreensão abrangente das necessidades fundamentais dos clientes e comportamentos de compra dominantes.

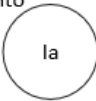
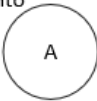
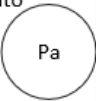

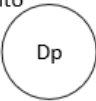
Igualmente importante, Gattorna (2015) destaca que a demanda por um produto ou serviço pode ser instável, por isso é incorreto sugerir que as cadeias de suprimentos podem ser projetadas em torno de uma classificação ampla de produto, se referindo à classificação de Fisher (1997), apresentada no Tópico 2.1.1.

Para Gattorna (2015), em vez de buscar uma classificação ampla e imutável de um tipo de cliente, alinhar a estratégia das cadeias com os clientes significa tentar atingir um alvo móvel, sendo fundamental levar em conta os seguintes pontos:

- Os clientes exibem um número pequeno de comportamentos de compra dominantes para qualquer produto ou serviço, geralmente não mais do que cinco;
- Os comportamentos de compra dominantes exibidos pelos clientes podem mudar temporariamente sob a pressão de condições externas, como circunstâncias de estilo de vida, regulamentação governamental ou o próprio ciclo de vida do produto. Mas os comportamentos geralmente retornam à posição preferida quando as condições voltam ao “normal”;
- Quando uma mudança permanente é observada, geralmente é o resultado de uma mudança na própria unidade de tomada de decisão interna do cliente;
- Não é incomum observar mais de um comportamento de compra em um cliente corporativo grande, onde diferentes grupos estão envolvidos na compra de diferentes categorias de produtos ou serviços em momentos diferentes.

De acordo com Gattorna (2015), embora haja muitas combinações e permutações de segmentos comportamentais possíveis, os tipos identificados em cadeias de suprimentos podem ser bem representados por um portfólio com cinco tipos principais, como mostra a Figura 9.

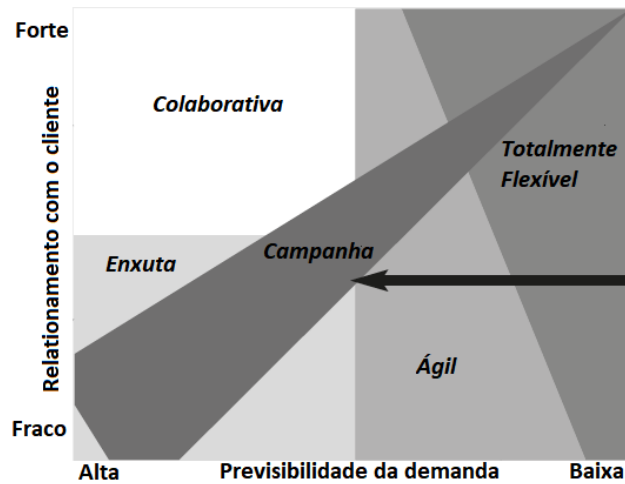
Figura 9 - Os cinco comportamentos de compra mais comumente observados

Colaborativo	Transacional	Dinâmico	Acumulação de Projetos	Soluções inovadoras
Comportamento dominante:  Primário: Integrador Secundário: Administrador	Comportamento dominante:  Primário: Administrador	Comportamento dominante:  Primário: Produtor Secundário: Administrador	Comportamento dominante:  Primário: Produtor e Administrador	Comportamento dominante:  Primário: Desenvolvedor Secundário: Produtor
Relacionamento próximo para ganhos mútuos	Resposta de baixo custo consistente para demandas altamente previsíveis	Resposta rápida para condições imprevisíveis de suprimentos e demanda	Entrega na planta do cliente no tempo acordado com completude	Desenvolvimento conduzido pelo fornecedor e geração de novas ideias
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Previsível na maioria das vezes</li> <li>- Entrega regular</li> <li>- Produtos desenvolvidos ou melhorados</li> <li>- Principal fonte de suprimentos</li> <li>- Relacionamento de confiança</li> <li>- Trabalho em equipe</li> <li>- Compartilhamento de informações</li> <li>- Desenvolvimento em conjunto</li> <li>- Complacente</li> <li>- Preço não é um problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda previsível dentro de contrato</li> <li>- Entrega regular</li> <li>- Foco em eficiência de baixo custo</li> <li>- Múltiplas fontes de suprimento</li> <li>- Pouco compartilhamento de informações</li> <li>- Mais antagônico</li> <li>- Processos padronizados</li> <li>- Poder imposto</li> <li>- Transacional</li> <li>- Muito sensível ao preço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda imprevisível</li> <li>- Relacionamento pouco personalizado ou não customizado</li> <li>- Prioridade para o tempo/urgência</li> <li>- Foco na oportunidade</li> <li>- Fonte de suprimento pulverizada</li> <li>- Baixa lealdade, impessoal</li> <li>- Menos processos</li> <li>- Orientado pelo resultado</li> <li>- Transações comerciais baseadas no pragmatismo</li> <li>- Consciência de preço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega com prazo específico</li> <li>- Sistemas de reserva de estoque</li> <li>- Entregas completas</li> <li>- Acelerar se necessário</li> <li>- Processos padrões</li> <li>- Embalagens especiais</li> <li>- Transportes especiais se necessário</li> <li>- Preço fixo</li> <li>- Evitar atrasos</li> <li>- Mitigação de riscos</li> <li>- Supervisão sistemática e detalhada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda muito imprevisível</li> <li>- Risco mais alto</li> <li>- Resposta flexível</li> <li>- Foco na inovação</li> <li>- Mudança rápida</li> <li>- Tomada de decisão individual</li> <li>- Orientado para solução</li> <li>- Gerenciamento da propriedade intelectual</li> <li>- Incentivos/ego</li> <li>- Sensibilidade ao preço muito baixa</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

A partir desses principais tipos de comportamento de compras, Gattorna (2015) conclui que cinco cadeias de suprimentos permeiam as empresas, assim como o sistema nervoso central em humanos e que cada um tem configurações e características operacionais diferentes, obtidas através da combinação de processos e atividades padrões de maneiras únicas. Os cinco tipos de cadeia de suprimentos são representados pela Figura 10 e apresentados brevemente na sequência.

Figura 10 - Os cinco tipos genéricos de cadeias de suprimentos na escola de alinhamento dinâmico



Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

- Cadeias Colaborativas

Segundo Gattorna (2015), como o nome já diz, as cadeias colaborativas exigem colaboração efetiva com clientes e fornecedores, sendo que é fundamental focar na retenção das relações com os clientes. A demanda deste tipo de cadeia é caracterizada por ser altamente previsível, em decorrência da estreita relação que se estabelece com os clientes.

- Cadeias Enxutas

Diferentemente da definição usual de “cadeia enxuta”, Gattorna (2015) não inclui necessariamente o fator de colaboração neste tipo de cadeia, mas explica que ainda é necessária uma visão externa a fim de desenvolver e alinhar as proposições de valor apropriadas com os clientes. O autor também incorpora os conceitos de “puxar” do mercado e de eficiência, sendo o foco desse tipo de cadeia a remoção de desperdícios onde for possível.

Cadeias enxutas funcionam bem quando se considera, principalmente, elementos como: baixo preço, sensibilidade de preços e eficiência (GATTORNA, 2015).

- Cadeias Ágeis

Esse tipo de cadeia exige alta responsividade em relação às necessidades dos clientes e a situações de demandas imprevisíveis, sendo essencial “puxar” do mercado (GATTORNA, 2015). Em geral, segundo o autor, a obtenção dessa resposta rápida envolve a construção de capacidade redundante (*buffers*) ao longo da cadeia de suprimentos - na forma de estoque, mão de obra, aquisição, capacidade de produção e ativos de transporte.

- Cadeias Campanha

Essa configuração é projetada para atender condições de demanda que fazem parte de projetos, grandes e pequenos (GATTORNA, 2015). De acordo com o autor, fornecedores de produtos, conjuntos e equipamentos de engenharia sob encomenda (ETO) devem gerenciar a preparação e a entrega aos locais do projeto de uma maneira completamente diferente, e mais complexa, da maneira usual como produtos discretos são entregues.

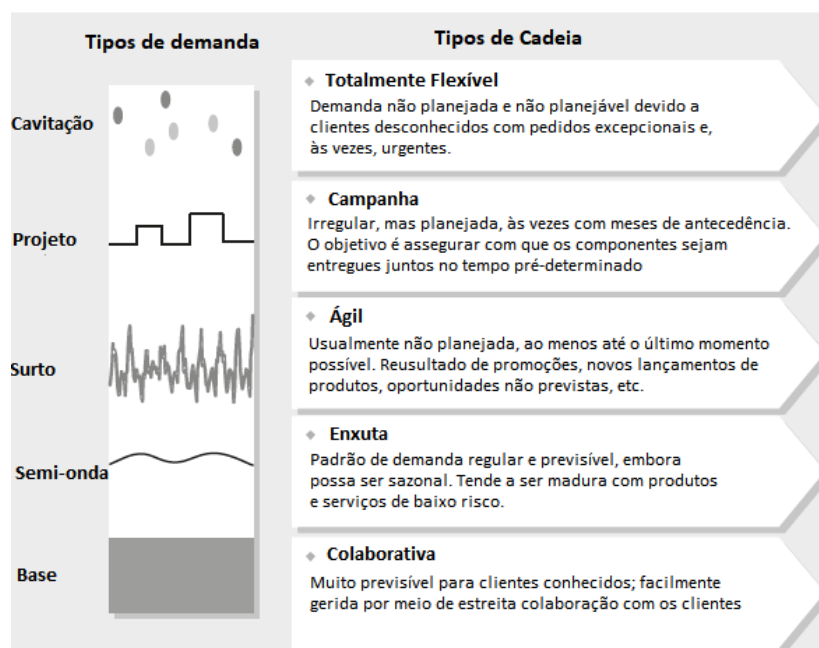
- Cadeias Totalmente Flexíveis

Segundo Gattorna (2015), este tipo de cadeia é um exemplo extremo de uma cadeia ágil, sendo que essa competência é fundamental para a continuidade do negócio em situações de crise. Por conseguinte, o gerenciamento de uma cadeia totalmente flexível pode envolver um pequeno grupo de pessoas altamente qualificadas e empreendedoras disponíveis em regime de stand-by ou de emergência.

Ademais, nesse tipo de cadeia os fornecedores sempre conduzem o mercado em busca de soluções inovadoras, sendo as necessidades dos clientes apontadas de maneira clara e efetiva (GATTORNA, 2015).

A Figura 11 ilustra os tipos de comportamento de demanda para cada tipo de cadeia identificado por Gattorna (2015).

Figura 11 - Tipos de comportamento de demanda e tipos de cadeia relacionados



Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

## 2.2 Lógica *Fuzzy*

A lógica comum ou booleana é utilizada frequentemente em processos de tomada de decisão, a qual se baseia na separação dos objetos em conjuntos *crisp*. Um conjunto *crisp* é definido de modo a separar os objetos de maneira dicotomizada em dois grupos: membros (aqueles que pertencem ao conjunto); e não membros (aqueles que não pertencem ao conjunto). Essa característica da lógica comum garante uma distinção precisa e não ambígua entre os membros e não membros do conjunto (KLIR; YUAN, 1995).

Embora esses conjuntos tenham grande importância em diversas aplicações, muitas classes de objetos encontradas no mundo real não possuem critérios de pertencimento precisamente definidos. Por exemplo, pode-se classificar uma pessoa com 1,80m de altura como “alta” e outra com 1,60m como “baixa”, porém, em qual conjunto se encaixa uma pessoa com altura 1,70m? Ela está mais próxima da categoria de pessoas “altas” ou de pessoas “baixas”? E se o conjunto das pessoas altas incluem aquelas com mais de 1,80m, como se classificaria as pessoas com 1,79m?

Com o intuito de trabalhar com esses tipos de problemas, Zadeh (1965) introduziu uma teoria baseada em conjuntos de objetos com limites que não são precisos, mas sim difusos (*fuzzy*, em inglês). Portanto, a participação de um objeto em um conjunto difuso não é uma questão de afirmação ou negação, como ocorre na lógica booleana, mas sim uma questão de grau de pertencimento (Klir; Yuan, 1995).

Essas classes de objetos que são imprecisamente definidas desempenham um papel importante no pensamento humano, na medida em que nos permite reconhecer padrões e utilizar abstração, por exemplo (ZADEH, 1965).

Neste contexto, a lógica *fuzzy* surge como uma tentativa de formalizar e mecanizar duas das mais notáveis capacidades humanas: a capacidade de conversar, raciocinar e tomar decisões em um ambiente de informações imperfeitas, ou seja, com imprecisão, incerteza, incompletude de informações e informações conflitantes; e a capacidade de realizar uma ampla variedade de tarefas físicas e mentais sem quaisquer medidas e cálculos (ZADEH, 2008).

### 2.2.1 Conjuntos Clássicos

Considerando um conjunto *crisp*  $A$  contido em um universo de elementos  $U$  ( $A \subset U$ ), Bojadziev e Bojadziev (2007) explicam que a regra de pertencimento que caracteriza os membros desse conjunto é estabelecida pela função de pertinência  $\mu_A(x)$ , a qual assume apenas

dois valores, 1 e 0, indicando se o elemento  $x \in U$  pertence ou não pertence ao conjunto  $A$ . Ou seja:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A, \\ 0, & \text{se } x \notin A. \end{cases} \quad (1)$$

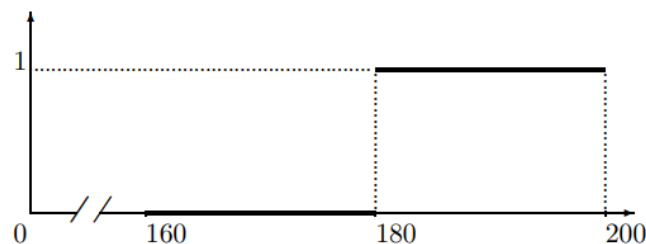
Dessa forma, cada conjunto é unicamente determinado pela sua função de pertinência (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Como definir se a demanda por um produto é alta ou não? Isso pode ser feito utilizando-se a lógica dos conjuntos *crisp*. Por exemplo, com base em uma análise prévia, observa-se que a demanda mínima por determinado produto é 160 unidades e se define que a partir de 180 unidades a demanda pelo mesmo produto é classificada como “alta”. Caso contrário, a demanda não é alta.

A função de pertinência para este caso é definida pela equação (2) e representada graficamente pela Figura 12:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } 180 \leq x, \\ 0, & \text{se } 160 \leq x < 180. \end{cases} \quad (2)$$

Figura 12 - Representação gráfica da função de pertinência para a demanda de um produto considerando a lógica Crisp



Fonte: Bojadziev e Bojadziev (2007)

A definição do conjunto “demanda alta” com base na lógica *crisp* traz uma certa problemática, visto que a função de pertinência assume apenas dois valores, dificultando a classificação de elementos com valores próximos aos limites da função. (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Por exemplo, se a demanda pelo produto em questão for de 179 peças, essa demanda não será considerada alta, mesmo tendo um valor muito próximo para tal classificação. Neste contexto, a lógica *fuzzy* se torna uma alternativa muito eficiente para

contornar esse problema, visto que adiciona o conceito de pertencimento parcial ou grau de pertinência (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

### 2.2.2 Conjuntos *Fuzzy*

Considerando o conceito de grau de pertinência imbuído na lógica *fuzzy*, a função de pertinência não mais assume apenas os valores 0 ou 1, sendo que pode assumir valores no intervalo [0,1] (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Os autores explicam que um conjunto *fuzzy*  $A$  é definido por um conjunto de pares ordenados relacionados binariamente da forma:

$$\mathcal{A} = (x, \mu_{\mathcal{A}}(x) \mid x \in A, \mu_{\mathcal{A}}(x) \in [1,0]) \quad (3)$$

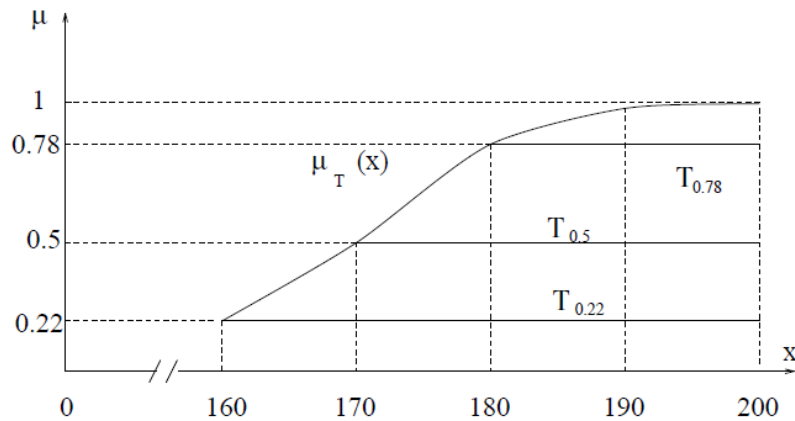
Na equação (3),  $\mu_{\mathcal{A}}(x)$  é a função de pertinência que especifica o grau a que qualquer elemento  $x$  pertence ao conjunto *fuzzy*  $\mathcal{A}$ . Dessa maneira, a equação (3) associa cada elemento  $x$  a um número real  $\mu_{\mathcal{A}}(x)$  pertencente ao intervalo de 0 a 1, sendo que quanto maior esse número, maior o grau de pertinência ou pertencimento.

Empregando a lógica do conjunto *fuzzy*, obtém-se um melhor resultado para o exemplo da demanda utilizado no tópico 2.2.1. Sendo o conjunto *fuzzy*, neste caso, definido por  $\mathcal{D} = \{(x, \mu_{\mathcal{D}}(x))\}$ , em que  $x$  é medido em unidades no intervalo [160, 200] e  $\mu_{\mathcal{D}}(x)$  é definida por:

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2(30)^2} (x - 140)^2, & \text{se } 160 \leq x \leq 170, \\ \frac{-1}{2(30)^2} (x - 200)^2 + 1, & \text{se } 170 \leq x < 200. \end{cases} \quad (4)$$

A Figura 13 mostra que cada valor de demanda possui um valor de pertinência associado, que indica o grau a que determinada demanda pode ser classificada como alta. Essa lógica torna a classificação desses valores, e principalmente dos valores próximos aos limites, mais fidedignas. Por exemplo, uma demanda de 179 unidades não é descartada totalmente da classificação “demanda alta”, mas possui determinado grau de pertinência em relação à essa classificação.

Figura 13 - Representação gráfica da função de pertinência para a demanda de um produto considerando a lógica fuzzy



Fonte: Bojadziev e Bojadziev (2007)

### 2.2.3 Variáveis Linguísticas

Quando os números *fuzzy* representam conceitos linguísticos, como pequeno, médio e grande, assim como no exemplo da demanda do tópico anterior, os constructos resultantes são usualmente chamados de variáveis linguísticas (KLIR; YUAN, 1995).

Os autores explicam que cada variável linguística é totalmente caracterizada por uma quintupla  $(v, T, X, g, m)$ , sendo  $v$  o nome da variável,  $T$  o conjunto dos termos linguísticos de  $v$  que fazem referência a uma variável base cujos valores variam dentro de um conjunto universal  $X$ ,  $g$  o conjunto de regras sintáticas para gerar termos linguísticos, e  $m$  uma regra semântica que associa a cada termo linguístico  $t \in T$  o seu significado  $m(t)$ , o qual é um conjunto *fuzzy* pertencente ao universo  $X$ .

Bojadziev e Bojadziev (2007) utilizam a variável *Idade* para exemplificar a configuração de uma variável linguística. A variável base neste caso é o número que representa a idade da pessoa, que varia no universo  $X = [0, 100]$ . Os termos linguísticos são definidos pelo conjunto  $T = [\text{muito novo}, \text{novo}, \text{idade média}, \text{velho}, \text{muito velho}]$  e as funções de pertinência  $m(t \in T)$ , que compõem a regra semântica  $m$ , são definidas como:

$$m_{\text{muito novo}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } 0 \leq x \leq 5, \\ \frac{30 - x}{25}, & \text{se } 5 \leq x \leq 30. \end{cases} \quad (5)$$

$$m_{novo}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{25}, & \text{se } 5 \leq x \leq 30, \\ \frac{50-x}{20}, & \text{se } 30 \leq x \leq 50. \end{cases} \quad (6)$$

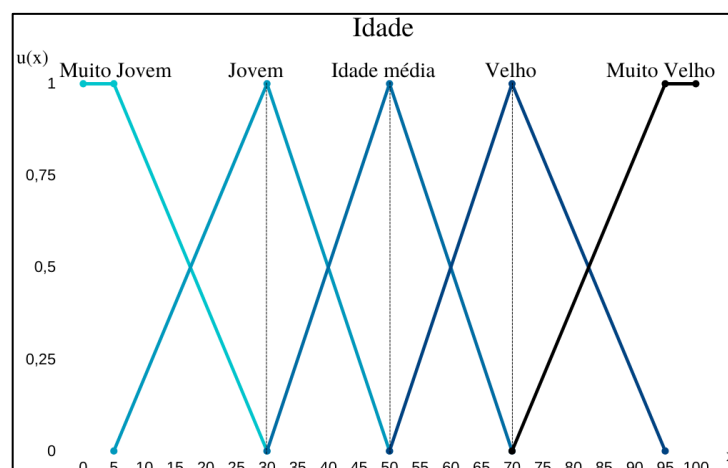
$$m_{idade\ média}(x) = \begin{cases} \frac{x-30}{20}, & \text{se } 30 \leq x \leq 50, \\ \frac{70-x}{20}, & \text{se } 50 \leq x \leq 70. \end{cases} \quad (7)$$

$$m_{velho}(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{20}, & \text{se } 50 \leq x \leq 70, \\ \frac{95-x}{25}, & \text{se } 70 \leq x \leq 95. \end{cases} \quad (8)$$

$$m_{muito\ velho}(x) = \begin{cases} \frac{x-70}{25}, & \text{se } 70 \leq x \leq 95, \\ 1, & \text{se } 95 \leq x \leq 100. \end{cases} \quad (9)$$

As funções de pertinência representadas pelas equações (5) e (9) descrevem funções parcialmente trapezoidais enquanto que as equações de (6), (7) e (8) descrevem funções triangulares, como mostra a Figura 14. Segundo Bojadziev e Bojadziev (2007), esses tipos de funções são frequentemente utilizados, por exemplo, em aplicações nas áreas de tomada de decisão, finanças e negócios, e ciências sociais, pois tornam as representações gráficas e operações muito simples.

Figura 14 - Representação gráfica da variável linguística Idade



Fonte: Adaptado de Bojadziev e Bojadziev (2007).

### 2.2.4 Operações com conjuntos *fuzzy*

As operações padrões dos conjuntos *fuzzy*, que são generalizações das operações básicas dos conjuntos *crisp*, possuem uma significância especial na teoria dos conjuntos *fuzzy* (Klir; Yuan, 1995).

O complemento padrão,  $\overline{\mathcal{A}}$ , de um conjunto *fuzzy*  $\mathcal{A}$  é definido pela equação:

$$\overline{\mathcal{A}}(x) = 1 - \mathcal{A}(x) \quad (10)$$

Considerando dois conjuntos *fuzzy*,  $\mathcal{A}$  e  $\mathcal{D}$ , a interseção padrão e a união padrão entre eles são definidas pelas equações:

$$(\mathcal{A} \cap \mathcal{D})(x) = \min [\mathcal{A}(x), \mathcal{D}(x)] \quad (11)$$

$$(\mathcal{A} \cup \mathcal{D})(x) = \max [\mathcal{A}(x), \mathcal{D}(x)] \quad (12)$$

De acordo com Klir e Yuan (1995), as operações *fuzzy* apresentadas pelas equações acima não são únicas, como é de praxe na teoria dos conjuntos *crisp*. Portanto, as funções mais apropriadas para representar essas operações dependem do contexto de aplicação, assim como ocorre para as funções de pertinência. Por exemplo, a interseção padrão *fuzzy* (operador *min*) produz para quaisquer conjuntos *fuzzy* o maior conjunto *fuzzy* resultante dentre todos os conjuntos produzidos por todas as interseções *fuzzy* (t-normas). Em contrapartida, a união padrão *fuzzy* (operador *max*) produz o menor conjunto *fuzzy* dentre todos os conjuntos *fuzzy* produzidos por todas as possíveis uniões *fuzzy* (t-conormas).

Uma t-norma  $i$ , ou interseção *fuzzy*, é uma operação binária que satisfaz pelo menos as seguintes relações para todo  $a, b, d \in [0,1]$ :

$$\text{Condição de fronteira} \quad i(a, 1) = a \quad (13)$$

$$\text{Monotocidade} \quad b \leq d \text{ implica em } i(a, b) \leq i(a, d) \quad (14)$$

$$\text{Comutatividade} \quad i(a, b) = i(b, a) \quad (15)$$

$$\text{Associatividade} \quad i(a, i(b, d)) = i(i(a, b), d) \quad (16)$$

Uma t-conorma  $u$ , ou interseção *fuzzy*, é uma operação binária que satisfaz pelo menos as seguintes relações para todo  $a, b, d \in [0,1]$ :

$$\text{Condição de fronteira} \quad u(a, 0) = a \quad (17)$$

$$\text{Monotocidade} \quad b \leq d \text{ implica em } u(a, b) \leq u(a, d) \quad (18)$$

$$\text{Comutatividade} \quad u(a, b) = u(b, a) \quad (19)$$

$$\text{Associatividade} \quad u(a, u(b, d)) = u(u(a, b), d) \quad (20)$$

O Operador Gama introduzido por Zimmermann e Zysno (1980), que se coloca entre os operadores do tipo “e” e “ou” indicando um grau de compensação entre o operador *max* e *min*, frequentemente utilizado em aplicações da literatura, é um exemplo de t-norma:

$$\mu = \left( \prod_{i=1}^m \mu_i \right)^{1-\gamma} \cdot \left( 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i) \right)^\gamma \quad (17)$$

Na equação (17),  $\mu$  representa o conjunto *fuzzy* resultante,  $\mu_i$  representa cada conjunto *fuzzy*,  $m$  representa o número total de conjuntos *fuzzy* e  $\gamma$  representa o parâmetro de compensação.

Se  $\gamma = 0$ , a equação resultante contém apenas o produto e, portanto, fornece os mesmos valores do conectivo “e”. Se  $\gamma = 1$ , a equação se transforma em uma soma algébrica e fornece os valores do conectivo “ou”.

### 2.2.5 Relações *Fuzzy*

As relações *fuzzy* foram introduzidas por Zadeh (1973) como uma generalização das relações clássicas. Zimmermann (1996) define que relações *fuzzy* são subconjuntos *fuzzy* de  $X \times Y$ , ou seja:

$$\mathcal{R} = \{((x, y), \mu_{\mathcal{R}}(x, y)) | (x, y) \in X \times Y, \mu_{\mathcal{R}}(x, y) \in [0, 1] \} \quad (20)$$

$\mu_{\mathcal{R}}$  representa a função de pertinência, que fornece o grau de pertencimento do par ordenado  $(x, y)$  em  $\mathcal{R}$ , ou seja, o grau de pertinência indica o grau que  $x$  está em relação à  $y$ .

### 2.2.6 Composições de Relações *Fuzzy*

Relações *fuzzy* podem ser combinadas umas com as outras (ZIMMERMANN, 1996). Segundo o autor, diferentes versões de “composição” têm sido sugeridas, as quais diferem em seus resultados e também em relação a suas propriedades matemáticas. Ademais, o autor infere que a composição max-min tem se tornado a mais conhecida e mais frequentemente utilizada, embora a composição max-prod ou max-average forneçam resultados mais satisfatórios.

Sendo  $\tilde{R}_1(x, y), (x, y) \in X \times Y$  e  $\tilde{R}_2(y, z), (y, z) \in Y \times Z$  duas relações *fuzzy*, as principais composições de relações *fuzzy* são:

$$\begin{array}{l} \text{Composição} \\ \text{max-min} \end{array} \quad \tilde{R}_1 \circ \tilde{R}_2 = \left\{ \left[ (x, z), \max_y \left\{ \min \left\{ \mu_{\tilde{R}_1}(x, y), \mu_{\tilde{R}_2}(y, z) \right\} \right\} \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\} \quad (21)$$

$$\begin{array}{l} \text{Composição} \\ \text{max-prod} \end{array} \quad \tilde{R}_1 \cdot \tilde{R}_2(x, z) = \left\{ \left[ (x, z), \max_y \left\{ \mu_{\tilde{R}_1}(x, y) \cdot \mu_{\tilde{R}_2}(y, z) \right\} \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\} \quad (22)$$

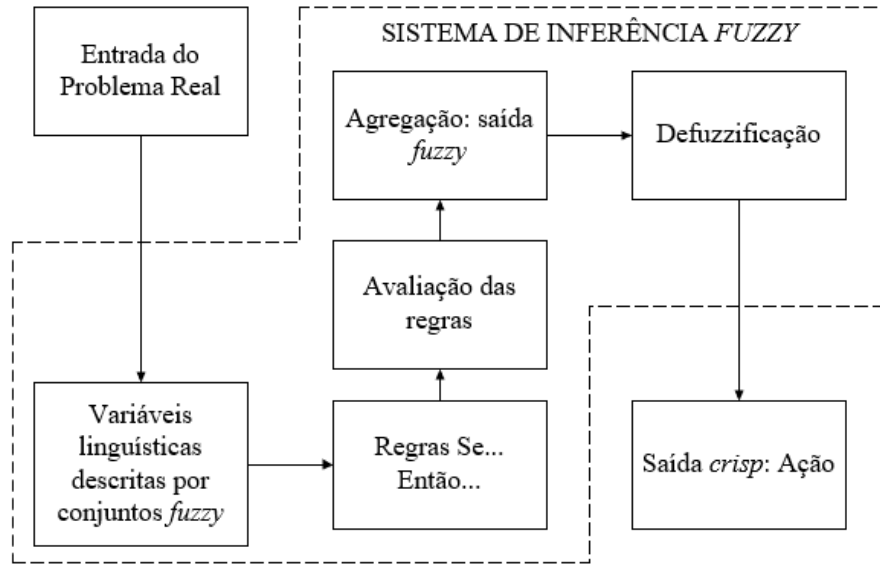
$$\begin{array}{l} \text{Composição} \\ \text{max-average} \end{array} \quad \tilde{R}_1 \overset{\circ}{av} \tilde{R}_2(x, z) = \left\{ \left[ (x, z), \frac{1}{2} \max_y \left\{ \mu_{\tilde{R}_1}(x, y) \cdot \mu_{\tilde{R}_2}(y, z) \right\} \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\} \quad (23)$$

### 2.2.7 Sistemas de Inferência *Fuzzy* (SIF)

A metodologia de Sistemas de Inferência *Fuzzy* (SIF), ou *Fuzzy Logic Control* (FLC), foram desenvolvidas principalmente para atender as necessidades da engenharia industrial (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Os autores explicam que os Sistemas de Inferência *Fuzzy* se baseiam na utilização de conjuntos e da lógica *fuzzy* aplicados a problemas de controle e inferência em um ambiente de imprecisão e incerteza, sendo uma estratégia muito efetiva quando alta precisão não é requerida. A Figura 15 descreve as principais etapas de um sistema de inferência *fuzzy*.

Figura 15 - Sistema de Inferência Fuzzy (SIF)



Adaptado de Bojadziev e Bojadziev (2007).

### 2.2.8 Modelagem das variáveis de controle

Segundo Bojadziev e Bojadziev (2007), as variáveis linguísticas são modeladas por conjuntos  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{C}$  e  $\mathcal{D}$  contendo os termos  $\mathcal{A}_i$ ,  $\mathcal{C}_j$ ,  $\mathcal{D}_k$ :

$$\mathcal{A} = \{\mathcal{A}_1, \dots, \mathcal{A}_i, \mathcal{A}_{i+1}, \dots, \mathcal{A}_n\} \quad (24)$$

$$\mathcal{C} = \{\mathcal{C}_1, \dots, \mathcal{C}_j, \mathcal{C}_{j+1}, \dots, \mathcal{C}_m\} \quad (25)$$

$$\mathcal{D} = \{\mathcal{D}_1, \dots, \mathcal{D}_k, \mathcal{D}_{k+1}, \dots, \mathcal{D}_l\} \quad (26)$$

E cada termo  $\mathcal{A}_i$ ,  $\mathcal{C}_j$  e  $\mathcal{D}_k$ , é um conjunto *fuzzy* definido como:

$$\mathcal{A}_i = \{(x, \mu_{\mathcal{A}_i}(x)) \mid x \in \mathcal{A}_i \subset U_1\}, i = 1, \dots, n \quad (27)$$

$$\mathcal{C}_j = \{(x, \mu_{\mathcal{C}_j}(x)) \mid x \in \mathcal{C}_j \subset U_2\}, j = 1, \dots, m \quad (28)$$

$$\mathcal{D}_k = \{(x, \mu_{\mathcal{D}_k}(x)) \mid x \in \mathcal{D}_k \subset U_3\}, l = 1, \dots, k \quad (29)$$

Portanto, para determinação desses conjuntos, que moldam as variáveis linguísticas, é necessário:

- i. Determinação dos conjuntos universais  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  das variáveis base das variáveis linguísticas.

- ii. Seleção do formato das funções de pertinência (ex: gráfico triangular ou trapezoidal).
- iii. Especificar o número de termos em cada variável linguística (equações de 24 à 25).
- iv. Especificar os intervalos de suporte (domínios) dos termos  $\mathcal{A}_i, \mathcal{C}_j, \mathcal{D}_k$ .

### 2.2.9 Regras de Inferência

As regras de inferência são da forma *se...e...então* e o número de regras de um SIF é igual ao produto do número de termos em cada variável linguística (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Por exemplo, ao considerar as variáveis linguísticas “Tráfego”, assumindo os termos “baixo” e “alto”, e “Intensidade da Chuva”, assumindo os termos “baixa” e “alta”, tem-se a possível configuração de regras:

Tabela 2 - Exemplo de regras de inferência

<b>Se...</b>	<b>E...</b>	<b>Então</b>
<b>Tráfego</b>	<b>Intensidade da Chuva</b>	<b>Trânsito</b>
Baixo	Alta	Médio
Baixo	Baixa	Baixo
Alto	Alta	Alto
Alto	Baixa	Médio

Fonte: Elaborado pelo autor

Existem diversas maneiras de definir a regra que retorna a consequência, ou seja, o termo obtido após a combinação dos termos das variáveis linguísticas (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Segundo os autores, uma forma comum é utilizar o controlador Mamdani, que define a regra de inferência como uma regra expressa por um operador aplicado às funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy*  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{C}$  e  $\mathcal{D}$ . A definição das variáveis linguísticas e regras e inferência são os principais passos para se implementar um controlador Mamdani (ZIMMERMANN, 1996).

O primeiro passo para implementar um controlador Mamdani, segundo o autor, é computar os graus de pertinência dos valores de entrada nos antecedentes da regra. O operador *min*, por exemplo, é empregado como modelo para o conector lógico “e”, e o grau de combinação da regra  $r$  é computado como:

$$\alpha_r = \min_{i=1,\dots,n} \{ \mu_i^{j_i}(x_i^{entrada}) \} \quad (30)$$

### 2.2.10 Avaliação das Regras

A relação definida na equação 30 torna possível a avaliação das consequências da regra (ZIMMERMAN, 1996). Isso significa que regras com um grau de pertinência baixo no antecedente também possui pouca validade e, portanto, coloca os conjuntos *fuzzy* de consequência na altura do grau de pertinência antecedente. Em termos matemáticos, tem-se:

$$\mu_r^{conseq}(u) = \min\{\alpha_r, \mu_i^j(u)\} \quad (31)$$

### 2.2.11 Agregação

Segundo Zimmermann (1996), o resultado do processo de avaliação é obtido pela agregação de todas as consequências utilizando o operador *max*:

$$\mu^{conseq}(u) = \max_r \{ \mu_r^{conseq}(u) \} \quad (32)$$

Zimmermann (1996) salienta que o método Mamdani leva em consideração todas as regras em um único estágio e nenhum encadeamento é feito, o que torna o processo de inferência no controle *fuzzy* muito mais simples do que comparado com outros sistemas experts.

### 2.2.12 Defuzzificação

A *defuzzificação* é uma operação que produz um único valor, não-*fuzzy*, que representa adequadamente a função de pertinência de uma agregação *fuzzy* (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Segundo os autores, não há uma forma única de realizar essa operação, sendo que os diversos métodos existentes de *defuzzificação* levam em consideração a forma dos números *fuzzy* e também a complexidade dos cálculos.

Alguns métodos mais conhecidos são, de acordo com Zimmermann (1996) são: Centro de Área (COA) ou Centro de Gravidade (COG); Centro das Somas (COS); Média do Máximo (MOM). O método COA é talvez o mais popular devido ao fato de parecer natural do ponto de

vista do senso comum, visto que a ação escolhida corresponde ao centro de área com grau de pertinência maior que zero (ZIMMERMANN, 1996).

### 2.3 Modelo quantitativo utilizado

O modelo quantitativo utilizado neste trabalho tem como base as configurações do sistema de inferência *fuzzy* proposto por Ferreira (2017). O autor desenvolve um modelo com base teórica, ao fazer uma junção entre a classificação DWV<sup>3</sup>, proposta por Christopher e Towill (2000a), e a classificação de alinhamento dinâmico, proposta por Gattorna (2015).

Mais especificamente, a classificação DWV<sup>3</sup> compõe a base de regras do sistema de inferência *fuzzy*, enquanto que a classificação dos tipos de cadeia da escola do alinhamento dinâmico compõe o conjunto das possíveis variáveis de saída do sistema.

A definição da relação entre as variáveis do modelo DWV<sup>3</sup> (tempo de entrega, volume e variabilidade) e os tipos de cadeia de suprimentos do modelo de alinhamento dinâmico é fundamental para o funcionamento do sistema de inferência *fuzzy* utilizado neste trabalho. A relação proposta por Ferreira (2017) está representada nas Tabelas 3, 4, 5, 6, e 7.

Tabela 3 - Características da cadeia de suprimentos colaborativa

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	De médio a alto, o principal valor do cliente é a entrega na data combinada e não especificamente a duração do tempo de entrega	Gattorna (2015, p. 204)
Volume	De médio a baixo, uma vez que produtos maduros tendem ter queda de consumo	Gattorna (2015, p. 203)
Variabilidade	Baixa, altamente previsível através do canal de comunicação entre fornecedor e cliente. O mix de produtos tende ser composto por produtos maduros	Gattorna (2015, p. 203)

Fonte: Ferreira (2017)

Tabela 4 - Características da cadeia de suprimentos enxuta

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	De médio a alto, o cliente busca um prazo de entrega pré-estabelecido, apesar de não compartilhar informações sobre a demanda	Gattorna (2015, p. 243)
Volume	De médio a alto, uma vez que clientes que buscam o menor custo tendem a buscar ganhos de escala	Gattorna (2015, p. 243)
Variabilidade	Baixa, clientes com a mentalidade transacional tendem a comprar produtos maduros e estabelecidos	Gattorna (2015, p. 241)

Fonte: Ferreira (2017)

Tabela 5 - Características da cadeia de suprimentos ágil

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Baixo, a natureza da demanda requer uma resposta rápida	Gattorna (2015, p. 281)
Volume	Baixo, a falta de planejamento encolhe os tempos de entrega necessários para atendimento da demanda e também encolhe o tamanho dos lotes	Gattorna (2015, p. 283)
Variabilidade	Alta, clientes com mentalidade dinâmica tendem a aumentar a gama de possibilidades de escolha. Esta grande gama gera uma alta variabilidade	Gattorna (2015, p. 283)

Fonte: Ferreira (2017)

Tabela 6 - Características da cadeia de suprimentos campanha

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Alto, uma vez que há todo o processo de projeto de produto, compras e fabricação, impossibilitando a antecipação de atividades	Gattorna (2015, p. 324)
Volume	Baixo, uma vez que a venda de projetos, em geral, ocupa grande parte da capacidade de fabricação para cada único projeto	Gattorna (2015, p. 322)
Variabilidade	Alta, cada projeto tem um cliente específico e um projeto de produto diferente	Gattorna (2015, p. 322)

Fonte: Ferreira (2017)

Tabela 7 - Características da cadeia de suprimentos totalmente flexível

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Baixo, para solução de crise o quanto antes a demanda for suprida, melhor	Gattorna (2015, p. 355)
Volume	Baixo, uma vez que a demanda será suprida uma única vez. Em alguns casos o protótipo é a entrega esperada	Gattorna (2015, p. 354)
Variabilidade	Alta, é impossível prever o que será necessário para solucionar uma possível situação de crise	Gattorna (2015, p. 355)

Fonte: Ferreira (2017)

As variáveis “duração do ciclo de vida do produto” e “variedade”, do modelo DWV<sup>3</sup>, não foram considerados no modelo para fins de simplificação, visto que não possuem importância primordial (FERREIRA, 2017).

### 2.3.1 Variáveis de entrada e parametrização do modelo

Como introduzido no Tópico 3.3, os critérios selecionados para a avaliação da cadeia de suprimentos, com base em Ferreira (2017), foram: o volume individual de vendas de cada produto, a variabilidade da demanda de cada produto e o tempo de entrega médio para cada

produto. Esses critérios são avaliados para cada linha de produto e para cada período analisado (“pré-pandemia” e “pandemia”).

Ferreira (2017) utiliza funções de pertencimento triangulares e trapezoidais para representar as variáveis *fuzzy* de entrada no sistema de inferência, uma vez que apresentam maior eficiência computacional e são parametrizadas de maneira mais simples (ZIMEMRMAN, 2001 apud FERREIRA, 2017).

O autor utiliza os termos “Baixo”, “Médio” e “Alto” para as variáveis de entrada, na medida em que três termos são suficientemente capazes de simular o pensamento humano sem gerar uma quantidade excessiva de regras no sistema de inferência (VON ALTROCK, 1997 apud FERREIRA, 2017).

Como aconselha Ferreira (2017), a parametrização do sistema de inferência, ou seja, a definição dos intervalos das variáveis *fuzzy* de entrada, deve ser realizada com base na análise dos dados obtidos sobre os produtos e na experiência de especialistas selecionados da empresa.

### 2.3.2 Variável de saída

O modelo fornece uma variável de saída para cada material, a partir dos valores que assumem as variáveis de entrada. A variável de saída proposta por Ferreira (2017) é qualitativa e representa o tipo da cadeia de suprimentos que melhor representa o cenário para cada item individualmente. Os termos utilizados, ou seja, os valores que a variável de saída assume, foram os nomes das cadeias de suprimento propostas por Gattorna (2015): Colaborativa, Enxuta, Ágil, Campanha e Totalmente Flexível.

Concordantemente com Ferreira (2017), o modelo utilizado não faz a *defuzzificação* dos resultados, mas considera como resultado o maior grau de pertencimento encontrado no vetor de saída.

### 2.3.3 Procedimento de Inferência

O modelo proposto por Ferreira (2017) adota as configurações representadas pela Tabela 8 a respeito do procedimento de inferência.

Tabela 8 - Configurações do procedimento de inferência

<b>Tópicos</b>	<b>Tipo utilizado no modelo</b>	<b>Justificativa</b>
Sistema de inferência	Tipo Mamdani	Amplamente utilizado na literatura
Relação de implicação	Operador Gama	Possibilita um efeito compensatório, aproximando-se mais o resultado encontrado pelo sistema das decisões humanas
Procedimento de agregação	Operador máximo	Típico do sistema de inferência do tipo Mamdani
Controlador lógico	Tipo Mamdani	Indicado para sistemas de suporte à decisão; vem sendo aplicado em vários casos em empresas

Fonte: Adaptado de Ferreira (2017)

#### 2.3.4 Base de Regras do Sistema de Inferência

A base de regras do sistema de inferência proposto por Ferreira (2017) é resultado da relação entre os critérios volume, variabilidade e tempo de entrega, e os tipos de cadeia de suprimentos propostos por Gattorna (2015).

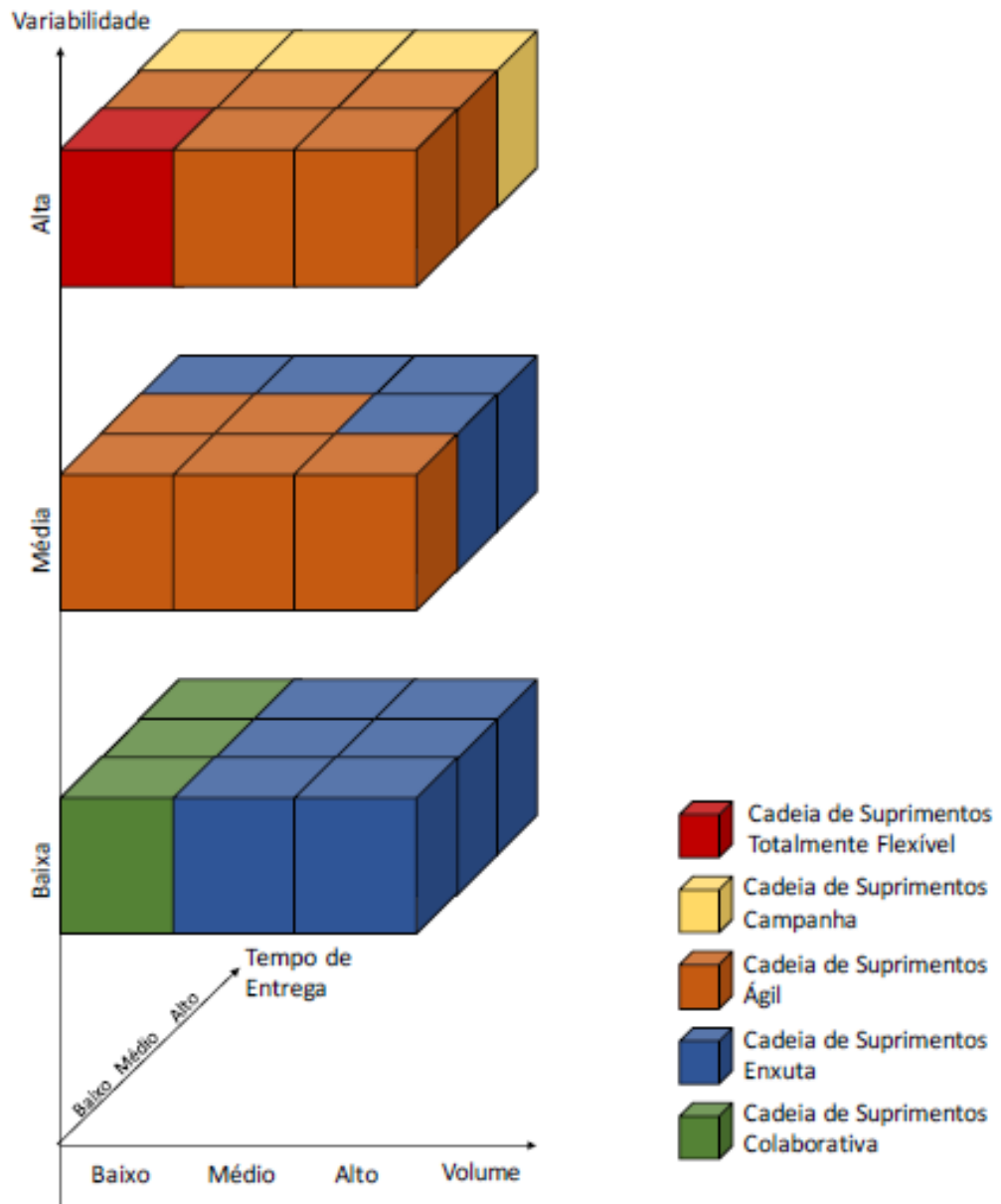
Como o sistema de inferência considera três variáveis de entrada que podem assumir três termos (“baixo”, “médio” e “alto”), conseqüentemente a base de regras do modelo possui 27 regras, as quais são apresentadas na Tabela 9 e representadas de maneira visual na Figura 16.

Tabela 9 - Base de regras do sistema de inferência

Regra	Antecedentes			Consequentes
	Volume	Variabilidade	Tempo de Entrega	Cadeia
1	Baixo	Baixo	Baixo	Colaborativa
2	Baixo	Baixo	Médio	Colaborativa
3	Baixo	Baixo	Alto	Colaborativa
4	Baixo	Médio	Baixo	Ágil
5	Baixo	Médio	Médio	Ágil
6	Baixo	Médio	Alto	Enxuta
7	Baixo	Alto	Baixo	Totalmente Flexível
8	Baixo	Alto	Médio	Ágil
9	Baixo	Alto	Alto	Campanha
10	Médio	Baixo	Baixo	Enxuta
11	Médio	Baixo	Médio	Enxuta
12	Médio	Baixo	Alto	Enxuta
13	Médio	Médio	Baixo	Ágil
14	Médio	Médio	Médio	Ágil
15	Médio	Médio	Alto	Enxuta
16	Médio	Alto	Baixo	Ágil
17	Médio	Alto	Médio	Ágil
18	Médio	Alto	Alto	Campanha
19	Alto	Baixo	Baixo	Enxuta
20	Alto	Baixo	Médio	Enxuta
21	Alto	Baixo	Alto	Enxuta
22	Alto	Médio	Baixo	Ágil
23	Alto	Médio	Médio	Enxuta
24	Alto	Médio	Alto	Enxuta
25	Alto	Alto	Baixo	Ágil
26	Alto	Alto	Médio	Ágil
27	Alto	Alto	Alto	Campanha

Fonte: Ferreira (2017)

Figura 16 - Representação visual da base de regras



Fonte: Ferreira (2017)

### 3 MÉTODO

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Pesquisas baseadas em modelos quantitativos partem do princípio de que modelos objetivos podem ser desenvolvidos para explicar processos operacionais e para solucionar problemas de tomada de decisão que são frequentemente encontrados na vida real (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

Esta pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa axiomática descritiva. O principal foco de uma pesquisa axiomática, de acordo com Bertrand e Fransoo (2002), é obter soluções por meio do modelo desenvolvido e analisar se essas soluções proporcionam discernimentos acerca do problema que está sendo tratado dentro do modelo.

Ademais, pesquisas descritivas têm como foco primordial a descrição das características de um fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis de um determinado modelo (GIL, 2002).

O presente estudo busca, a partir de um modelo e classificações já existentes na literatura, obter *insights* acerca de um cenário real e analisar se as características desse modelo são apropriadas para esse cenário, como forma de avaliar o modelo existente.

#### 3.2 Levantamento conceitual

De acordo com Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Esta é uma etapa essencial deste trabalho, na medida em que os dois principais assuntos abordados (gestão da cadeia de suprimentos e lógica *fuzzy*), possuem uma base teórica bem consolidada e abundante. Portanto, torna-se primordial o levantamento de conhecimento presente na literatura a fim de obter uma melhor compreensão sobre o tema e, conseqüentemente, obter melhores resultados.

Após a definição do tema da pesquisa, foi feito um levantamento bibliográfico de livros, publicações periódicas e impressos diversos, utilizando principalmente as bases de periódicos *Web of Science* e *Scopus*. Esse levantamento pode ser entendido como um estudo exploratório, posto que tem a finalidade de proporcionar a familiaridade com as áreas do estudo (GIL, 2002).

*Strings* de busca como: “*Supply Chain management*”, “*Global supply chains*”, “*Supply*

*Chain Segmentation*”, “*Market Segmentation*”, “*fuzzy logic*”, “*fuzzy methods*”, “*COVID-19*”; foram combinadas com o intuito de levantar bibliografia relevante.

### 3.3 Levantamento e análise dos dados

Como ambiente de estudo, foi selecionada uma empresa do setor automobilístico que possui cadeias de suprimentos altamente globalizadas, o que significa que a mesma depende da importação de produtos advindos de vários países distintos. Ainda, a empresa não é responsável pela produção das mercadorias, apenas pela revenda das mesmas.

Juntamente com um especialista da área de logística da empresa, que possui uma visão geral do negócio, foram selecionadas 2 linhas de produtos com particularidades diferentes para serem analisadas por meio do modelo quantitativo.

A tabela 10 representa algumas características das linhas de produto selecionadas.

Tabela 10 - Características das linhas de produtos selecionadas

Linha de produto	Características principais
A	Composta por peças de reposição com estratégia de estoque majoritariamente MTO. Mais de 70% dos itens são importados exclusivamente de um determinado país da Europa, sendo que o restante possui compra distribuída em outros países.
B	Composta por itens <i>commodities</i> com estratégia de estoque majoritariamente MTS. Mais de 70% dos itens são importados exclusivamente de um determinado país da Europa, sendo que o restante possui compra distribuída em outros países.

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando as linhas de produtos selecionadas, as informações tempo de entrega, volume de vendas e variabilidade para cada item foram extraídas por meio do sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa.

Para esta extração, foi considerado um período de dois anos, o qual foi dividido em “pré-pandemia” e “pandemia” para questões de análise. O período de “pré-pandemia” refere-se ao intervalo de 01/03/2019 até 29/02/2020, enquanto que o período de pandemia refere-se ao intervalo de 01/03/2020 até 28/02/2021. A busca considerou todos os pedidos de vendas colocados no sistema durante o intervalo mencionado.

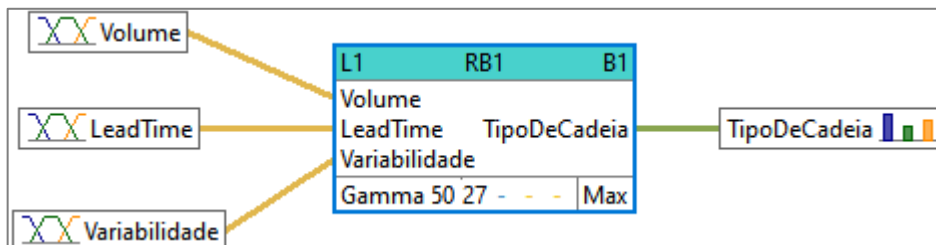
Para cada item e para cada período (“pré-pandemia” e “pandemia”), foi calculado:

- i. O volume de vendas total;
- ii. O *lead time* médio, obtido por meio da diferença entre a data que a nota fiscal foi emitida e a data que o pedido do cliente foi colocado no sistema;
- iii. A variabilidade das vendas, obtida pelo cálculo do desvio padrão do volume de vendas de cada mês em relação à média do período considerado, dividido pela média do período.

### 3.4 Construção do modelo quantitativo

O modelo quantitativo foi desenvolvido no *software* FuzzyTech 8.82b (Versão Demo), visto que possui funcionalidades importantes como depuração do sistema de inferência e importação em massa de dados, ao mesmo tempo que apresenta uma interface simples e intuitiva, sem necessitar de muito conhecimento prévio para sua utilização. A Figura 17 representa o sistema de inferência *fuzzy* desenvolvido no *software*.

Figura 17 - Sistema de inferência desenvolvido no software FuzzyTech



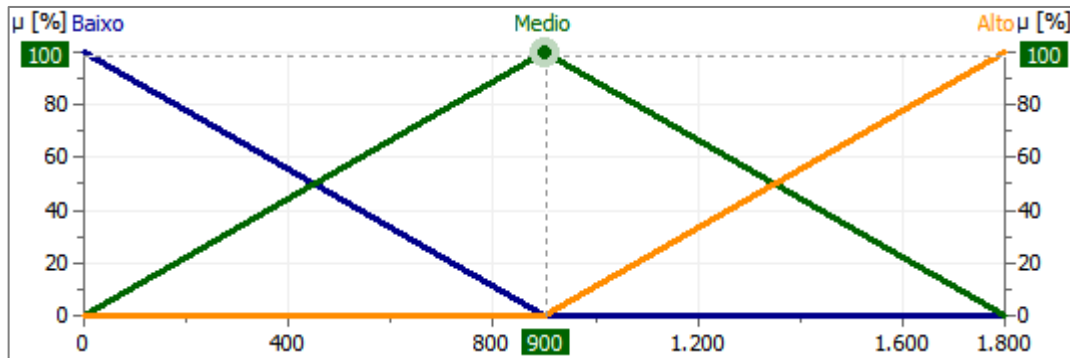
Fonte: Elaborado pelo autor

A única adaptação em relação ao modelo proposto por Ferreira (2017) perpassa os intervalos definidos para as funções de pertinência das variáveis de entrada do modelo. Para a definição desses intervalos, foi realizada uma análise exploratória dos dados com o intuito de obter um maior conhecimento acerca de suas características. As principais características levantadas, foram: médias, comportamentos gráficos (limites superiores e inferiores; frequências por meio de histogramas), e porcentagens (países de importação; estratégia de estoque; etc.).

Com essas análises resumidas, um especialista experiente da área de logística que possui amplo conhecimento sobre as linhas de produto foi consultado e os intervalos das funções de

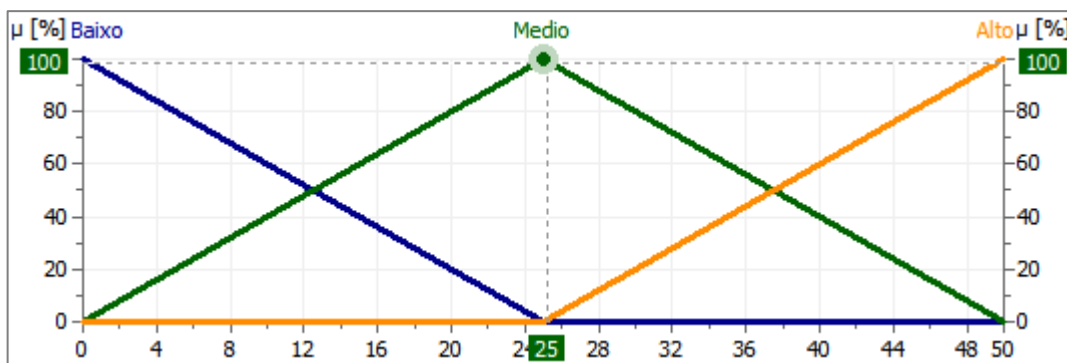
pertinência das variáveis volume de vendas, *lead time* médio e variabilidade da demanda foram definidos conforme mostram as Figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 - Função de pertinência para a variável volume de vendas



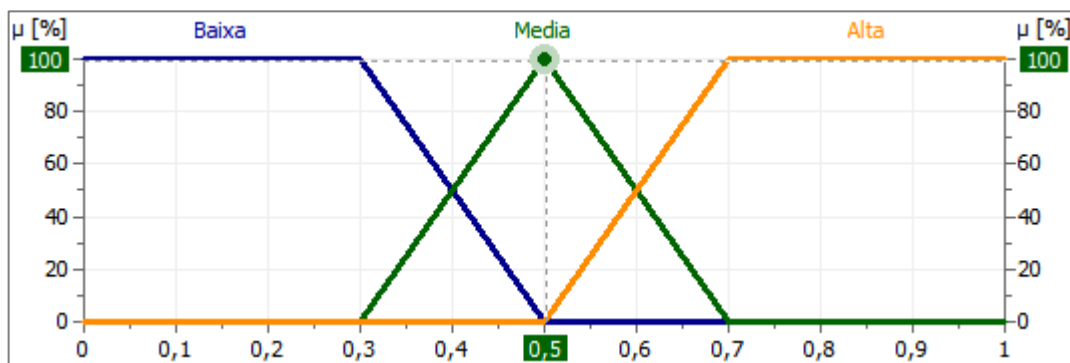
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 - Função de pertinência para a variável lead time médio



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 - Função de pertinência para a variável variabilidade

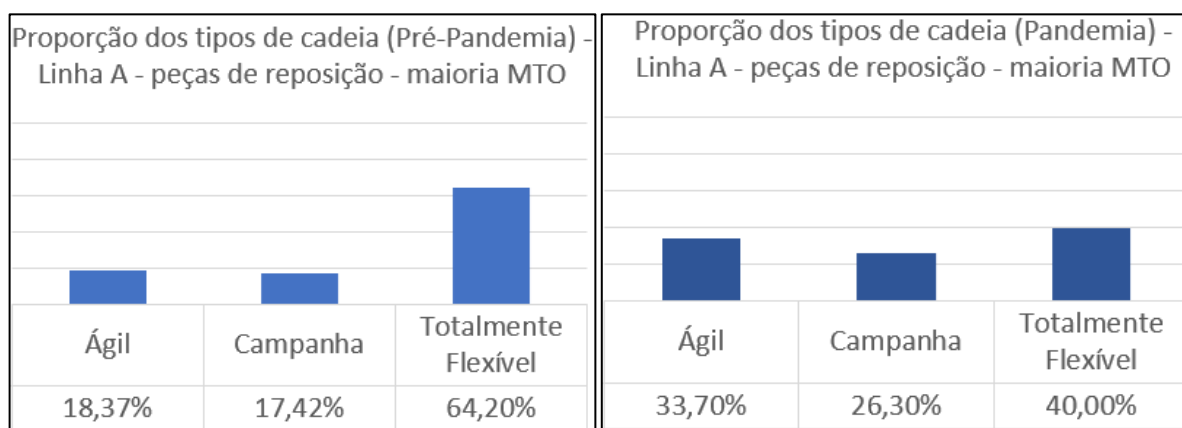


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4 APLICAÇÃO DO MODELO E DISCUSSÕES

Os dados de volume de vendas, *lead time* médio e variabilidade da demanda de cada item, de cada linha de produto e para cada período analisado foram inseridos no sistema de inferência *fuzzy* da Figura 17 e os resultados obtidos estão representados pelas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Proporção dos tipos de cadeia para a linha de produtos A: Pré-Pandemia (à esquerda); Pandemia (à direita)



Fonte: Elaborado pelo autor

##### 4.1 Análise geral da linha de produtos A

Analisando a Figura 21 nota-se que a linha de produtos A, composta por peças de reposição, é constituída por tipos de cadeia de suprimentos que possuem uma característica bem marcante em comum: a variabilidade da demanda. De acordo com Garcia, Martin e Lara (2008), peças de reposição apresentam algumas peculiaridades, como a criticidade para a operação, dados os custos elevados em casos de falta, a imprevisibilidade quanto à demanda e o baixo giro de estoque.

Nos dois períodos analisados, o tipo de cadeia totalmente flexível apresenta a maior representatividade, sendo caracterizado por baixos tempos de entrega, baixos volumes e alta variabilidade, sendo este último um aspecto comum no que tange esse tipo de produto. Vários itens da linha de peças de reposição também tiveram suas cadeias classificadas como ágeis pelo modelo. Essas classificações vão de encontro com as peculiaridades de peças de reposição, haja visto a grande variabilidade da demanda e a necessidade de *lead times* mais baixos.

A variabilidade alta, segundo o especialista entrevistado, decorre do fato de ser difícil prever quando uma peça precisará ser repostada, não havendo um padrão típico de demanda.

Ademais, os *lead times* baixos são consequência: da estratégia de *safety stock* adotada para esses itens; da escolha do modal aéreo para importação; e da estratégia MTS adotada normalmente pelos fornecedores, o que garante estoque disponível na maior parte das vezes.

Um ponto importante a ser considerado, é que para manter essa grande proporção de cadeias totalmente flexíveis e ágeis, a empresa precisa calcular adequadamente as redundâncias funcionais apropriadas (*buffers*). De acordo com Free e Hecimovic (2021), o cálculo desses excessos de capacidade é fundamental em toda a cadeia para acomodar eventos disruptivos. Como a maioria dos itens da linha A é MTO, a empresa precisa trabalhar com estoque de segurança ou alguma estratégia de antecipação de ordens para que o tempo de entrega não seja tão impactante. Portanto, é essencial que esse dimensionamento seja feito de maneira sistêmica e responsável para evitar excesso de estoque.

Cadeias do tipo campanha também compõem consideravelmente a linha de produtos A, na medida em que alguns itens apresentam alto tempo de entrega e alta variabilidade. Como as peças de reposição são majoritariamente importadas da Europa, os itens estão sujeitos a atrasos do fornecedor e do processo de transporte. Desse modo, um ponto importante a ser avaliado é se faz sentido manter cadeias de suprimento do tipo Campanha para peças de reposição, e qual é o impacto gerado para a empresa e para os clientes.

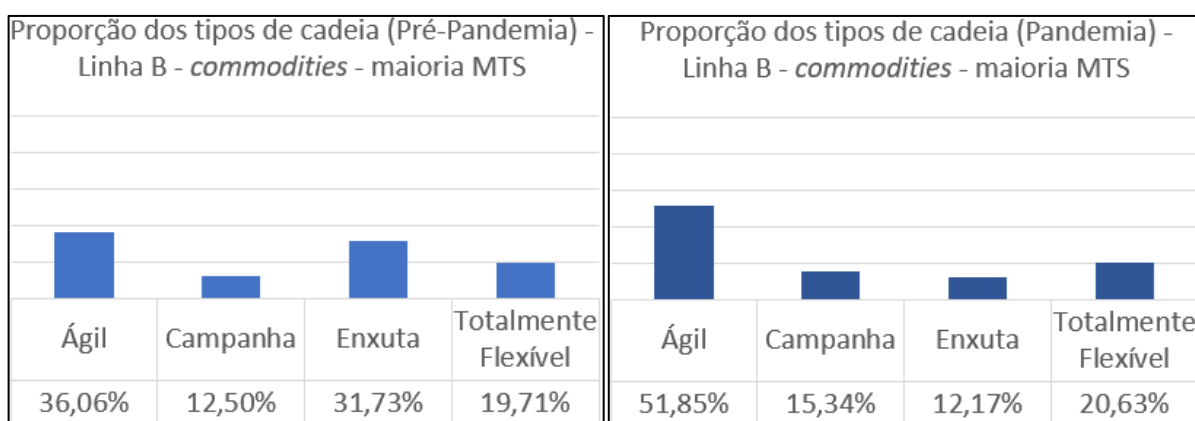
#### 4.2 Análise comparativa entre períodos da linha de produtos A

A Figura 21 também indica uma diminuição significativa das cadeias totalmente flexíveis e um aumento da participação das cadeias dos tipos campanha e ágil durante o período de pandemia. Essas mudanças identificadas pelo modelo são coerentes, na medida em que a crise de COVID-19 afetou diretamente a eficiência e o funcionamento das cadeias globais, gerando mais atrasos e, conseqüentemente, *lead times* mais altos. Dessa forma, entende-se que a pandemia impediu o desenvolvimento de cadeias totalmente flexíveis, as quais são fundamentais para o negócio em tempos de crise.

Além de serem configuradas com estratégia de estoque MTO, algumas peças de reposição possuem um tempo de fabricação alto no fornecedor, que somado ao tempo de transporte intercontinental (o qual também aumentou durante a pandemia), torna o *lead time* dessas peças similar ao tempo do desenvolvimento de projetos, algo típico de cadeias do tipo campanha. Ademais, durante a pandemia, os fornecedores da empresa sofreram com falta de matéria-prima e redução da capacidade produtiva, e os atrasos dos transportes intercontinentais aumentaram.

Por estas razões, o aumento da participação das cadeias do tipo campanha é coerente e é uma informação importante para contribuir com as decisões tomadas acerca dessa linha de produtos, dadas as peculiaridades das peças de reposição, já expostas anteriormente.

Figura 22 - Proporção dos tipos de cadeia para a linha de produtos B: Pré-Pandemia (à esquerda); Pandemia (à direita)



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3 Análise geral da linha de produtos B

Para a linha de produtos B, como mostra a Figura 22, o modelo quantitativo identificou quatro tipos de cadeia de suprimentos: campanha, enxuta, totalmente flexível e ágil; sendo esta última a que apresentou maior participação.

Apesar da linha de produtos B ser composta por itens do tipo *commodity*, ainda há uma variabilidade alta para grande parte deles, o que explica a presença de cadeias do tipo ágil, campanha e totalmente flexível. Entende-se que cadeias ágeis e totalmente flexíveis são decorrentes da estratégia MTS (*make-to-stock*), a qual é utilizada para a maioria dos itens. De acordo com Hill (2000), a principal vantagem dessa estratégia de estoque é a agilidade da entrega, embora os custos de estoque sejam consideravelmente altos.

Distintivamente das peças de reposição, vários itens da linha de produtos B tiveram suas cadeias classificadas como enxutas, que são caracterizadas por terem uma demanda relativamente previsível, composta por médios e altos volumes. Como a empresa não produz os itens, apenas realiza a importação, o armazenamento e a revenda, há oportunidades importantes no que tange à gestão de estoques ao se considerar práticas do pensamento enxuto.

Caso não seja possível adotar a estratégia MTO para fazer com que as compras sejam “puxadas” pela demanda, devido *lead time* inevitável de importação, é essencial otimizar as

previsões de vendas e aumentar a comunicação com o departamento de vendas, a fim de potencializar a vantagem oriunda da baixa variabilidade da demanda e para obter um planejamento mais eficiente, evitando falta ou excesso de estoque.

Verificou-se que a maioria dos itens com cadeias do tipo campanha, identificadas pelo modelo, são configurados com estratégia de estoque MTO. Essa relação é coerente na medida em que o *lead time* aumenta consideravelmente quando o cliente realiza um pedido de compra e o item não está disponível em estoque.

#### 4.4 Análise comparativa entre períodos da linha de produtos B

A diminuição da porcentagem de cadeias enxutas durante o período de pandemia evidencia o aumento da variabilidade da demanda, o que acaba por comprometer o planejamento de compra dos itens. Como os produtos da linha B são majoritariamente MTS, é importante que haja uma certa previsibilidade da demanda para que a empresa mantenha uma quantidade adequada de itens em estoque.

Embora um aumento das cadeias ágeis durante a pandemia possa parecer algo positivo e benéfico para a empresa, é necessário avaliar as consequências dessa alteração para o planejamento logístico. O aumento da variabilidade da demanda, consequência direta da pandemia de COVID-19, pode apresentar grandes desafios para cadeias de suprimentos que estavam sendo gerenciadas previamente por meio de uma estratégia enxuta.

Neste sentido, Free e Hecimovic (2021) indicam que o gerenciamento de riscos é fundamental para preparar as organizações para uma possível crise. Riscos como choques de oferta, flutuações de demanda e mudanças no comportamento do cliente devem ser monitorados frequentemente para evitar grandes impactos nas cadeias de suprimentos.

Durante o período de pandemia, os itens da linha de produtos B, antes fabricados por um fornecedor em território nacional, passaram a ser importados de um determinado país da Europa, o que também gerou impactos consideráveis na cadeia de suprimentos.

Com essa mudança de fornecedor, a empresa teve uma dificuldade inicial de repor o estoque dos itens, em decorrência do maior *lead time* de transporte e da escassez global de matéria prima. Como os itens da linha de produtos B são do tipo *commodity*, a empresa perdeu, momentaneamente, participação no mercado (*marketshare*), haja visto que os clientes passaram a comprar os mesmos itens de concorrentes que tinham estoque disponível.

Essa momentânea desestabilização da cadeia de suprimentos da linha de produtos B, causada pela mudança de fornecedor e potencializada pela pandemia, também explica o aumento da variabilidade da demanda identificada pelo modelo.

## 5 CONCLUSÕES

Esse trabalho pretendeu entender a influência da pandemia de COVID-19 em cadeias de suprimentos globais, utilizando um modelo quantitativo baseado na teoria de conjuntos *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos, haja visto a importância de tornar o processo de tomada de decisão mais claro e objetivo para os gestores das cadeias de suprimentos, principalmente em tempos de crise.

A metodologia utilizada foi baseada: no levantamento conceitual acerca dos temas; no levantamento e análise inicial dos dados da empresa; e na construção e adaptação do modelo quantitativo já existente na literatura.

Para se atingir uma compreensão de como a pandemia afetou cadeias de suprimentos globais, o estudo analisou duas linhas de produtos de uma empresa do setor automobilístico que pratica importação, também com a finalidade de testar o modelo quantitativo utilizado.

Verificou-se que as proporções das cadeias de suprimentos para ambas as linhas de produtos mudaram consideravelmente durante o período de pandemia de COVID-19. Por exemplo, a linha de produtos A teve uma redução significativa das cadeias totalmente flexíveis, ao mesmo tempo que teve um aumento de cadeias do tipo campanha, consequência dos maiores *lead times*. A linha de produtos B passou a ter maior participação de cadeias ágeis e menor participação de cadeias enxutas no período da pandemia, em decorrência do aumento de variabilidade da demanda.

De forma resumida, essas mudanças, ou desalinhamentos nas cadeias de suprimentos, são coerentes levando em consideração o desencadeamento dos efeitos da pandemia nas cadeias globais, os quais incluem aumento de incertezas e de *lead times*.

Ademais, concluiu-se que as caracterizações obtidas pelo modelo, tanto no período pré-pandemia quanto no período de pandemia, vão de encontro com as características e peculiaridades das linhas de produtos analisadas, validando assim o modelo proposto por Ferreira (2017) em outro contexto de estudo. Para essa validação foi essencial consultar a opinião de um especialista da empresa, o qual possui amplo conhecimento das características dos produtos dessas linhas e do processo de planejamento logístico dos mesmos.

Com isso, o objetivo do trabalho foi atingido em sua completude, visto que o mesmo identificou as consequências da pandemia para as cadeias de suprimentos das linhas de produtos analisadas, e validou o modelo quantitativo utilizado.

Em relação ao processo de coleta de dados, conclui-se que o sistema ERP da empresa, do qual foram extraídas as informações dos produtos, foi uma fonte fundamental para o estudo, haja visto a confiabilidade dos dados e a facilidade de extração, fatores inerentes ao sistema.

Além disso, não se definiu nenhuma estratégia formal para obter as informações qualitativas, ou impressões dos especialistas, acerca dos resultados obtidos. Essas informações foram obtidas por meio de entrevistas que poderiam ser otimizadas por meio de instrumentos de forma a eliminar possíveis vieses.

Em pesquisas futuras, pode-se explorar com mais profundidade ações ou estratégias que auxiliem as empresas a buscar o realinhamento das cadeias de suprimentos. Ademais, seriam interessantes estudos que utilizassem o resultado da segmentação das cadeias de suprimentos da empresa para comparar com a opinião de clientes.

## REFERÊNCIAS

ADIZES, I. **How to Solve the Mismanagement Crisis**. 5th. ed. Santa Barbara, CA: The Adizes Institute Publishing, 1985.

AITKEN, James. Agility and leanness - a successful and complimentary partnership in the lighting industry. Proceedings of LRN2000 Conference, p. 1-7, 2000.

BALLOU, Ronald H. **O Produto da Cadeia de Suprimentos / Logística**. [S. l.: s. n.], 2007.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BOJADZIEV, George; BOJADZIEV, Maria. **Fuzzy logic for business, finance, and management**. 2. ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007

CHILDERHOUSE, Paul; AITKEN, James; TOWILL, Denis R. Analysis and design of focused demand chains. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 6, p. 675–689, 2002.

CHORN, Norman. The ‘Alignment’ theory: creating strategic fit. *Management Decision*, v. 29, n. 1, p. 20-4, 1991.

CHRISTOPHER, Martin. *Logistics and Supply Chain Management*. 3. Ed. Prentice-Hall, Financial Times, 2011.

CHRISTOPHER, Martin.; TOWILL, Denis R. Developing Market Specific Supply Chain. **The International Journal of Logistics Management**, v. 13, n. 1, p. 1–16, 2010.

CHRISTOPHER, Martin; PECK, Helen; TOWILL, Denis. A taxonomy for selecting global supply chain strategies. *The International Journal of Logistics Management*, v. 17, n. 2, p. 277-287, 2006.

CHRISTOPHER, Martin; TOWILL, Denis. An integrated model for the design of agile supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 31, n. 4, p. 235–246, 2001.

FERREIRA, Rafael. **Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica fuzzy para caracterização de cadeias de suprimentos em empresas**. 89 f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FISHER, Marshall. “What is the right supply chain for your product?”, *Harvard Business Review*, v. 75, n. 2, p. 105-16, 1997.

FREE, Clinton; HECIMOVIC, Angela. Global supply chains after COVID-19: the end of the road for neoliberal globalisation? **Accounting, Auditing and Accountability Journal**, vol. 34, no. 1, p. 58–84, 2021.

GANGA, Gilberto; CARPINETTI, Luiz Cesar. A fuzzy logic approach to supply chain performance management. **International Journal of Production Economics**, v. 134, n. 1, p. 177–187, 2011.

GARCIA, E; MARTIN, A; LARA, M. Gestão de Estoques MRO: Otimizando a Logística de Peças de Reposição. *Revista Mundo Logística*, v. 1, n.4, 6-10, 2008.

GATTORNA, J. **Dynamic Supply Chains: How to design, build and manage People centric value networks**. 3. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.

GATTORNA, John; CHORN, Norman; Day, Abby. Pathways to customers: reducing complexity in the logistics pipeline. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 21, n. 8, p. 5-11, 1991.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed, São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GODSELL, Janet; DIEFENBACH, Thomas; CLEMMOW, Chris; TOWILL, Denis;

CHRISTOPHER, Martin. Enabling supply Chain segmentation through demand profiling. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 41, n. 3, p. 296–314, 2011.

GOVINDAN, Kannan; FATTAHI, Mohammad; KEYVANSHOKOOH, Esmail. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. **European Journal of Operational Research**, v. 263, n. 1, p. 108–141, 2017.

HANDFIELD, Robert B.; GRAHAM, Gary; BURNS, Laird. Corona virus, tariffs, trade wars and supply chain evolutionary design. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 40, n. 10, p. 1649–1660, 2020.

HILL, Terry. **Manufacturing Strategy**. 2.ed., Palgrave, 2000.

HILL, Terry. *Manufacturing Strategy: The Strategic Management of the Manufacturing Function*, 1ª Edição, Macmillan, Basingstoke, 1985.

**Histórico da pandemia de COVID-19 - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. Paho.org. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>>. Acesso em: 19 Oct. 2021. UNCTAD (2021) Global Trade Update. Maio.

HOFMANN, Erik; BECK, Patrick; FÜGER, Erik. **The Supply Chain Differentiation Guide: a roadmap to operational excellence**. [S. l.: s. n.], 2012.

IVANOV, Dmitry; DAS, Ajay. Coronavirus (COVID-19 / SARS-CoV-2) and supply chain resilience: a research note Dmitry Ivanov \* Ajay Das. **International Journal of Integrated Supply Management**, v. 13, n. 1, p. 90–102, 2020.

KLIR, George; YUAN, Bo. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. 1. ed. Prentice Hall, 1995.

MIGUEL, Paulo; FLEURY, Afonso; MELLO, Carlos; et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 3. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

OLIVER, R; WEBER, M. Supply-chain management: logistics catches up with strategy. Outlook, Booz, Allen & Hamilton, Inc, 1982.

PEIDRO, David; MULA, Josefa; POLER, Raúl; VERDEGAY, José Luis. Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 160, n. 18, p. 2640–2657, 2009.

STOCK, James R.; BOYER, Stefanie L. Developing a consensus definition of supply chain management: A qualitative study. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 39, n. 8, p. 690–711, 2009.

VON ALTROCK, Constantin. **Fuzzy Logic & Neurofuzzy Applications in Business & Finance**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

WOMACK, James; JONES, Daniel. Lean Thinking. Simon and Schuster, New York, 1996.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965

ZADEH, Lotfi A. Is there a need for fuzzy logic? **Information Sciences**, v. 178, n. 13, p. 2751–2779, 2008.

ZADEH, Lotfi. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision. **IEEE Trans. Syst.**, v. 3, p. 28–44, 1973.

ZIMMERMANN, Hans. Fuzzy set theory - and its applications. 3. ed, Springer Science+Business Media New York, 1996.